

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

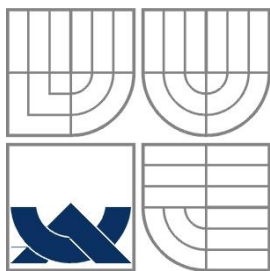
MOTORKY PRO ZVLÁŠTNÍ POHONY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

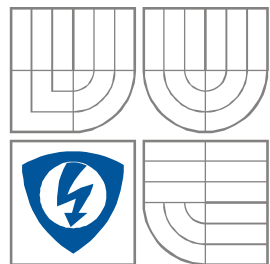
Radek Martinek

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

MOTORKY PRO ZVLÁŠTNÍ POHONY

ELECTRIC MOTORS FOR SPECIAL DRIVES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

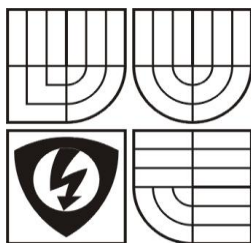
Radek Martinek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

BRNO, 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Radek Martinek

Ročník: 3

ID: 146898

Akademický rok: 2014/15

NÁZEV TÉMATU:

Motorky pro zvláštní pohony

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vypracujte přehled motorků pro specifické elektrické pohony.
2. Zvolte a analyzujte jedno provedení motorku jako příklad.
3. Proveďte rozbor možností a předpokladů inovace a modernizace motorků, doložte orientačním výpočtem.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Koziej E., Mazsyny elektryczne pojazdów samochodowych. WNT Warszawa, 1984, ISBN 83-204-0515-7
- [2] Hájek V., Kuchyňková H., Requirements and design of the starting system. XIV. International symposium on Electrical Machines - ISEM 2006. ČVUT, Praha, 2006, s. 69 - 78, ISBN 80-01-03548-4
- [3] Hájek V., Kuchyňková H.: Starter Motor Dimension. XLII International Symposium on Electrical Machines SME 2006. Cracow University of Technology, Poland, s. 99 - 102, ISBN 83-88309-36-6
- [4] T. Denton, Automobile Electrical and Electronics Systems” Butterworth-Heinemann, Oxford 2001 ISBN 0-340-73195-8

Termín zadání: 22.9.2014

Termín odevzdání: 2.6. 2015

Vedoucí projektu: prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce řeší elektrické motory ve specifických aplikacích. Cílem práce je představení použití elektrických motorů, dále stejnosměrného motoru, motoru se stíněným pólem a následná modernizace stejnosměrných motorů. Zaměřil jsem se především na motory stejnosměrné. Provedl jsem měření na několika motorech firmy APS Světlá nad Sázavou a následně jsem provedl návrh na inovaci stěračového motorku.

Inovaci jsem provedl v simulačním programu FEMM, kde se mi podařilo dosáhnout zmenšení motorku při zachování výkonu. Přínosem této práce je především možnost vylepšení malých stejnosměrných motorků a možnost následné spolupráce s firmou APS Světlá nad Sázavou.

Abstract

This project solves electric motor, which are used in specific drives. The aim is to show you the use of electric motor, then direct current motor, shielded pole motor and subsequent upgrade of direct current motor. I focused mainly on DC motors. I performed measurements on several motors APS Světlá nad Sázavou. Then I conducted a design to upgrade the wiper motor.

I conducted innovation in the simulation program FEMM, where I was able to achieve a reduction motorcycle while maintaining performance. Benefit from the work of this enhancement is the possibility of small DC motors and possibility of subsequent cooperation with APS Světlá nad Sázavou.

Klíčová slova

Stejnoseměrný motor; automobil; stěračový motor; stíněný pól; inovace; magnety, FEMM 4.2

Keywords

Direct current motor; car; wiper motor; shielded pole; innovation; magnets, FEMM 4.2

Bibliografická citace

MARTINEK, R. *Motorky pro zvláštní pohony*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 63 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma motorky pro zvláštní pohony jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

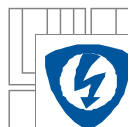
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

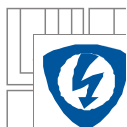
V Brně dne

Podpis autora



Obsah

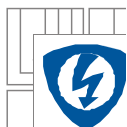
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
ÚVOD.....	13
1 SPECIFICKÉ ELEKTROMOTORY	14
1.1 OSTŘIKOVAČE V AUTOMOBILECH	14
1.2 CENTRÁLNÍ OVLÁDÁNÍ ZÁMKŮ.....	15
1.3 ELEKTRICKÉ OVLÁDÁNÍ OKEN	16
1.4 ELEKTRICKÉ OVLÁDÁNÍ POLOHY SEDADLA	18
1.5 KLIMATIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ	19
1.5.1 VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ.....	19
1.5.2 KLIMATIZACE	20
1.6 ELEKTROMOTORY V MOTOROVÉM PROSTORU	22
1.6.1 SPOUŠTĚČ	22
1.7 DALŠÍAPLIKACE.....	25
1.7.1 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY DENTÁLNÍ	25
1.7.2 MOTOREK PRO OTÁČENÍ TALÍŘE V MIKROVLNNÉ TROUBĚ.....	26
1.7.3 ELEKTROMOTOR VE VYSAVAČÍCH	26
1.7.4 MOTOR PRO VENTILÁTORY	28
1.7.5 MOTORKY SE STÍNĚNÝM PÓLEM	30
2 STĚRAČOVÝ MOTOR	32
2.1 ZÁKLADNÍ PRINCIP STĚRAČOVÉHO MOTORU	32
2.1.1 JEDNORYCHLOSTNÍ MOTOR	33
2.1.2 DVOURYCHLOSTNÍ MOTOR.....	33
2.2 PRINCIP ČINNOSTI STEJNOSMĚRNÉHO STROJE.....	34
3 INOVACE A MODERNIZACE MOTORKŮ	38
3.1 NEODYMOVÉ MAGNETY NdFeB	38
3.1.1 CHEMICKÉ VLASTNOSTI	38
3.1.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	38
3.1.3 ZPŮSOB MAGNETIZACE	39
3.2 SAMARIUM-KOBALTOVÝ MAGNET	39
3.2.1 ZPŮSOB MAGNETIZACE	39
3.3 VYHODNOCENÍ POUŽITÍ MAGNETŮ ZE VZÁCNÝCH ZEMIN.....	40
4 MĚŘENÍ VYBRANÝCH MOTORKŮ FIRMY APS SVĚTLÁ NAD SÁZAVOU	41
4.1 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK TYP.Č. FR-TII/69 BEZ PŘEVODOVKY	41
4.1.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	42



4.2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK TYP.Č. 8122272 S PŘEVODOVKOU	42
4.2.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	43
4.3 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK TYP.Č. KP-D5-61.270.....	45
4.3.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	45
4.4 STEJNOSMĚRNÝ MOTOREK TYP.Č. 443132238820.....	47
4.4.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	47
5 ANALÝZA STĚRAČOVÉHO MOTORKU	49
5.1 ANALÝZA MOTORKU	49
5.1.1 ROTOR	50
5.1.2 STATOR.....	50
5.2 VÝSLEDKY ANALÝZY POMOCÍ PROGRAMU FEMM	51
5.3 VÝSLEDKY ANALÝZY PŮVODNÍHO MOTORKU.....	53
6 NÁVRH INOVOVANÉHO STĚRAČOVÉHO MOTORKU	54
6.1 ZACHOVÁNÍ VÝKONU PŘI ZMĚNĚ VELIKOSTI STATORU	54
6.1.1 NÁVRH NOVÉ VÝŠKY PM	54
6.1.2 ANALÝZA VÝPOČTŮ MOTORKU VE FEMM.....	55
6.2 VÝSLEDKY ANALÝZY	58
7 ZÁVĚR.....	59
LITERATURA	61

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Ostříkovací motorek z automobilu Škoda Felicia</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2: Mechanismus ovládání zámek automobilu[5]</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3: První představitel elektrického stahování oken [5]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 4:Druhý typ provedení elektrického stahování oken [5]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 5:Třetí a poslední provedení mechanismu ovládání oken [5]</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 6: Směry pohybu elektricky ovládaného sedadla [4]</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 7: Ventilátor vytápění automobilu Felicia</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 8: Nezávislá vytápěcí soustava [5]</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 9: Klimatizační soustava [5]</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 10: Motor pro dentální použití [12]</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 11: Motorek pro otáčení talíře</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 12: Motor vysavače 1,4 kW[15]</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 13: Axiální ventilátor MEZAXIAL 3140 [12]</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 14: Radiální ventilátor RATAS 3132 [12]</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 15: Stíněný pól ve statoru [6]</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 16: Motorek se stíněným pólem firmy ATAS [6]</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 17:Schéma zapojení jednorychlostního motorku pro stěrače [2]</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 18: Schéma zapojení třetího kartáče na rotor [2]</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 19:Základní konstrukce stejnosměrného motoru [14]</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 20: Schéma zapojení motoru s cizím buzením [14]</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 21: Charakteristiky motoru s cizím buzením - změna odporu [14]</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 23: Charakteristiky motoru s cizím buzením - změna magnetického toku[14]</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 22: Charakteristiky motoru s cizím buzením - změna napětí[14]</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 24: Motor s buzením trvalými magnety</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 25: Technický náčrt motorku FR-T11/69 z technické dokumentace výrobce</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 26: Technický náčrt motorku 8122272 z technické dokumentace výrobce</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 27: Momentová charakteristika motoru 8122272 s převodovkou</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 28: Technický náčrt motorku KP-D5-61.2710 z technické dokumentace výrobce</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 29: Momentová charakteristika motoru KP-D5-61.2710</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 30: Technický náčrt motorku 443132238820 z technické dokumentace výrobce</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 31: Momentová charakteristika motoru 443132238820</i>	<i>48</i>



<i>Obrázek 32: Rotorový plech M700-50A</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 33: Stator, pohled zepředu</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 34: Řez motorem s přiřazenými materiály v programu FEMM 4.2</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 35: Rozložení magnetické indukce v motoru</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 36: Vnitřní moment při jmenovitém proudu</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 37: Magnetická indukce ve vzduchové mezeře</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 38: Řez motorem s přiřazenými materiály v programu FEMM 4.2</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 39: Magnetická indukce ve vzduchové mezeře</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 40: Rozložení magnetické indukce v motoru</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 41: Vnitřní moment při jmenovitém proudu</i>	<i>58</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Srovnání NdFeB a SmCo magnetů [11]</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
<i>Tabulka 2: Parametry stejnosměrného motorku FR-TII/69 bez převodovky</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
<i>Tabulka 3: Měření naprázdno motoru FR-TII/69</i>	42
<i>Tabulka 4: Parametry stejnosměrného motorku 8122272 s převodovkou</i>	42
<i>Tabulka 5: Měření naprázdno motoru 8122272</i>	43
<i>Tabulka 6: Měření momentové charakteristiky motoru 8122272</i>	43
<i>Tabulka 7: Parametry stejnosměrného motorku KP-D5-61.2710</i>	45
<i>Tabulka 8: Měření naprázdno motoru KP-D5-61.2710</i>	45
<i>Tabulka 9: Měření momentové charakteristiky motoru KP-D5-61.2710</i>	46
<i>Tabulka 10: Parametry stejnosměrného motorku 443132238820</i>	47
<i>Tabulka 11: Měření naprázdno motoru 443132238820</i>	47
<i>Tabulka 12: Měření momentové charakteristiky motoru 443132238820</i>	48
<i>Tabulka 13: Základní parametry stěračového motorku</i>	49
<i>Tabulka 14: Výsledné parametry stěračového motorku</i>	53
<i>Tabulka 15: Výsledné parametry inovovaného motorku</i>	58

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Jednotka	Veličina
U, mPM	[A]	Magnetické napětí permanentního magnetu
$U, m\delta$	[A]	Magnetické napětí vzduchové mezery
Um, Fe	[A]	Magnetické napětí v železe
$Um, reakce$	[A]	Magnetické napětí příčné reakce kotvy
$H\delta$	[kA/m]	Intenzita magnetického pole v mezeře
δ	[mm]	Délka vzduchové mezery
$B\delta$	[T]	Indukce ve vzduchové mezeře
kc	[-]	Carterův činitel
πds	[mm]	Drážková rozteč
$bds1$	[mm]	Šířka otevření drážky
κ	[-]	Koeficient respektující drážkování
l, pm	[mm]	Výška magnetu
H, pm	[kA/m]	Intenzita magnetického pole PM
μ_0	[H/m]	Permeabilita vakua
μ_r, pm	[H/m]	Relativní permeabilita PM

ÚVOD

Elektrický motor je zařízení, které převádí elektrickou energii na energii mechanickou. Každý takovýto motor obsahuje stator a rotor. Stator představuje nepohyblivou část motoru. Ovšem rotor představuje část, která se točí a vytváří tedy i mechanickou energii. Rotor je umístěn na hřídeli, společně i s další částí, která tento točivý pohyb využívá. Nejčastěji to bývá ozubené kolo, které slouží převedení malého momentu na větší moment.

Elektrický stroj se objevuje v mnoha aplikacích. Může se jednat o klasický kuchyňský mixér nebo pokojový ventilátor určený k ochlazení ovzduší. Já se budu v této práci zabývat aplikacemi elektrických motorů v automobilech.

V první části se zaměřím na vypsání několika aplikací, kde lze elektrický stejnosměrný motor v automobilech využít. Představím i několik kandidátů, které se používají i mimo automobilový průmysl. Bude se jednat o ventilátory, využitelné v průmyslové sféře.

Druhá se bude zabývat stěračovým motorem a motorem se stíněným pólem. Stěračový motorek je povinnou výbavou automobilů a je na něj kladeno mnoho požadavků. Motor se stíněným pólem je zcela odlišný typ motoru. Jedná se o jednofázový motor, který má v pólovém nastavci umístěno pomocné vinutí sloužící k rozběhu.

Ve třetí kapitole se budu zabývat vylepšením stejnosměrných motorků. Představím několik variant vylepšení stejnosměrných motorků. Tato vylepšení se budou týkat především změny velikosti statoru. Velikost rotoru je lepší ponechat původní z ekonomického hlediska.

Ve čtvrté kapitole provedu měření na vybraných motorcích. Bude se jednat o stejnosměrné motorky od firmy APS Světlá nad Sázavou. Tyto motorky jsou určené do pohonů stěračů v automobilech a dále se jedná o motorky určené pro nákladní automobily, kde slouží pro pohon ventilátorů topení.

V páté kapitole provedu inovaci stěračového motorku od firmy APS Světlá nad Sázavou. Budou zaměněny původní feritové magnety Durox D310 za magnety ze vzácných zemin, kde se jedná o magnety NdFeB 32 MGOe.

V závěru budou zhodnoceny výsledky analýzy a následné inovace motorku.

1 SPECIFICKÉ ELEKTROMOTORY

Specifické elektromotory se dají definovat jako motory, jež jsou určeny k vykonávání specifických úkonů. Tyto úkony mohou být právě ovládání různých zařízení a konstrukcí v automobilech, kterými se zabývám v první kapitole bakalářské práce. Dále se může jednat o motory, které slouží našim potřebám v domácnostech, jako např. různé kuchyňské mixéry, mikrovlnka též obsahuje elektrický motorek, nebo i domácí pekárny, kde elektromotor slouží k míchání s těstem. Nejdříve začneme s motory sloužící v automobilech.

1.1 Ostřikovače v automobilech

Ostřikovače jsou nezbytným doplňkem stěračů, jsou umístěné buď na přední kapotě automobilu, nebo jsou přímo na stěrače vyvedeny pryžové trubice s koncovými tryskami. Dnešní ostřikovače mají elektrická odstředivá nebo zubová čerpadla, která dopravují kapalinu do malých trysek. Čerpadla jsou umístěná v nádobce obvykle kapacitou na 3 l směsi. Ovšem záleží, jestli je nádobka společná pro ostřikování předního okna i zadního, popř. i ostřikování světlometů. Motorek ostřikovače (čerpadlo), je opět kartáčový stejnosměrný motorek, který dostatečně postačuje pro tuto aplikaci. Příklad motorku je na obr. 1 [5].



Obrázek 1: Ostřikovací motorek z automobilu Škoda Felicia [16]

1.2 Centrální ovládání zámků

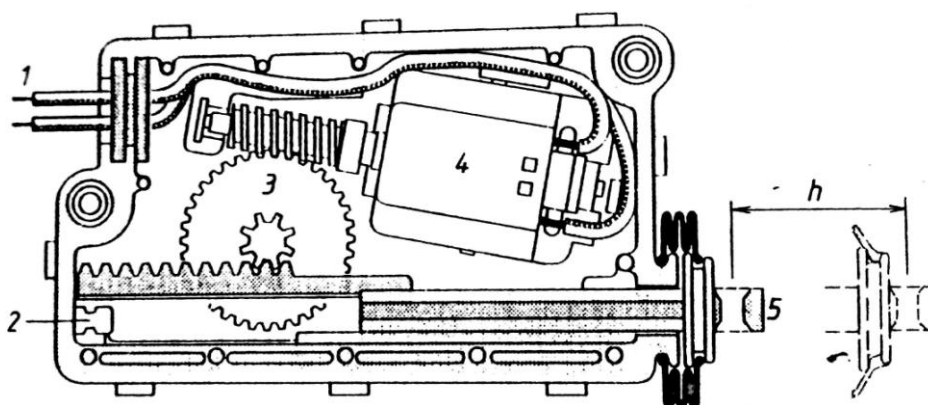
Nejjednodušší způsob zamykání automobilu, při němž jsou uzamčeny všechny dveře najednou. Tudíž už není nutné zamykat auto zamáčknutím knoflíku zevnitř a zvenku zamykat dveře řidiče. Tuto schopnost má v dnešní době jakýkoliv automobil. Ten, který centrálním zamykáním nedisponuje, má možnost dodatečné montáže, která je otázkou asi 2 – 3 h u běžně zručného člověka.

Základní princip, který je společný pro řadu technických řešení centrálního zamykání, je malý elektromotor s redukční převodovkou a hřebenovým mechanismem. Tento mechanismus ovládá táhly vlastní zámek mezi dvojicí krajních poloh a to, odjištěno/odemčeno a zajištěno/zamčeno. Pokud nastane případ, že vypadne napájení v síti vozidla, nebo se přepálí pojistka jen pro centrální zamykání, pak musí zůstat funkční i klasické odemykání klíčem.

Základní konstrukce je na obr. 2.

1. Elektrické připojení na síť (kontakty)
2. Pružný doraz – slouží ke zmírnění rázů při zpětném navracení vzpěry
3. Převodovka
4. Elektromotorek
5. Ovládací vzpěra
- h. Zdvih – určuje vzdálenost posuvu

Připojovacími kontakty je motorek připojen na hlavní řídicí jednotku, kde je možné ovládat několik zámků zároveň, tak aby došlo k zamčení automobilu. V dnešní době je řídicí jednotka ovládána dálkově. U moderních automobilů dochází k automatickému odemčení, pokud jsme v blízkosti vozidla [7].

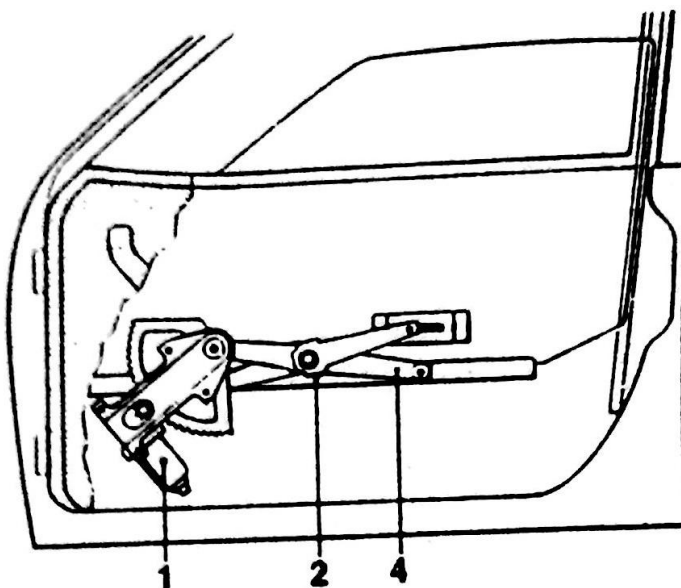


Obrázek 2: Mechanismus ovládání zámků automobilu[5]

1.3 Elektrické ovládání oken

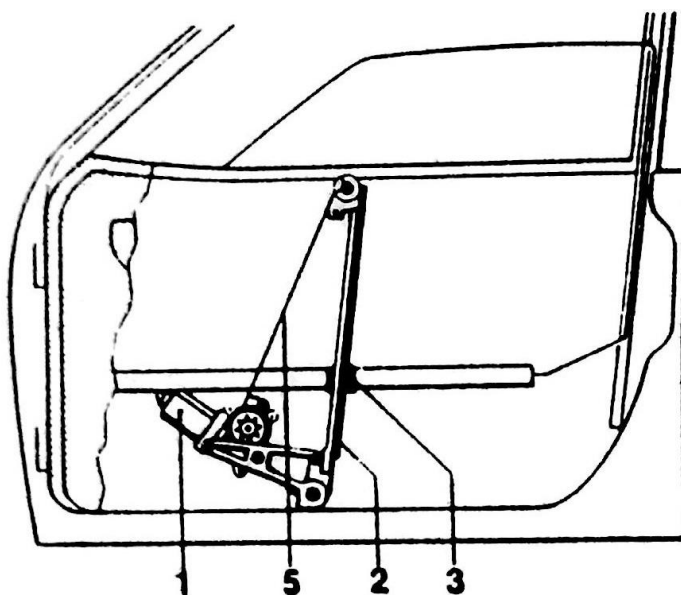
Elektrické ovládání oken je používané ve velké míře v přední části vozidla. Ovšem více vybavené modely automobilů jsou osazeny ovládáním i zadní části bočních oken. Pro ovládání bočních oken jsou používány tři systémy. Hlavním rozhodujícím kritériem pro výběr toho správného systému je zastavovací prostor.

Nejčastěji využívaným typem je první provedení, obr. 3. Šnekové ozubené kolo přímo na hřídeli s motorkem zabírá přímo do ozubeného segmentu, jehož kývavý pohyb je převáděn pákovým mechanismem přímo na kulisu ovládaného skla.



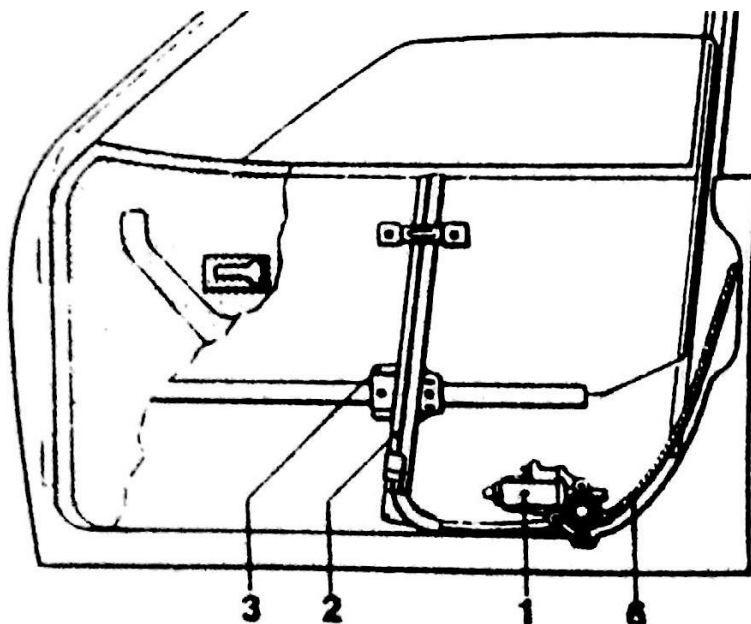
Obrázek 3: První představitel elektrického stahování oken [5]

Ve druhém případě (obr. 4) pohání elektromotorek s převodem do pomala hnací váleček, na kterém je lanko. Odvíjením a navíjením lanka na váleček se dosahuje přímočarého pohybu okna nahoru a dolů [5].



Obrázek 4: Druhý typ provedení elektrického stahování oken [5]

Poslední systém (obráz. 5) je tvořen ohebnou tyčí, jež je ovládaná elektromotorkem a přenáší sílu v tahu i tlaku. Elektromotorek je převodem do pomalu, na jeho hřídeli je pastorek, který přesně zapadá do ozubeného hřebene konce tyče. Omezený prostor ovlivňuje velikosti motorků i převodovek, které musejí být velmi malé. Výhodou tohoto mechanismu je, že se okno nemůže samovolně posunout, i když se pokoušíme násilně okénko otevřít.



Obrázek 5: Třetí a poslední provedení mechanismu ovládání oken [5]

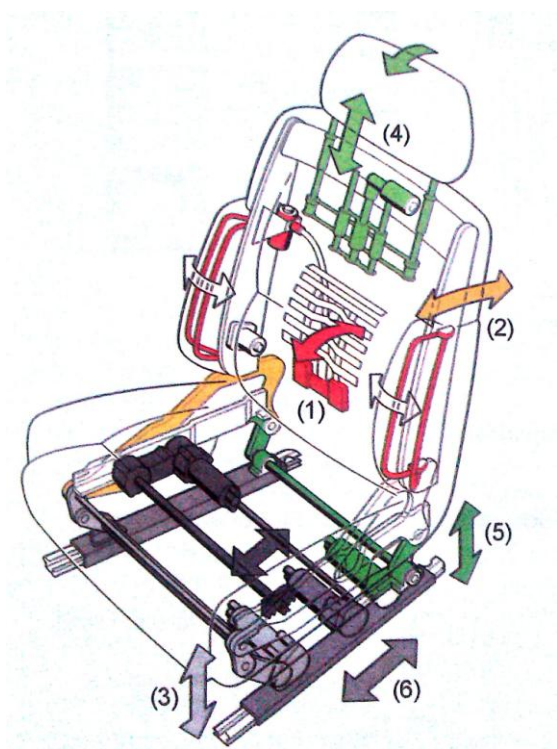
Elektrické řízení motorků pro ovládání oken je řešeno změnou polaritu. Motor má dvě svorky, pokud na obě přivedeme napětí +12 V, nebo obě uzemníme, motor stojí a okno zůstane v poloze, kde se momentálně nachází. Abychom motor uvedli do pohybu, musíme na jednu svorku přivést +12 V a druhou uzemnit. O tom tedy jakým směrem se bude pohybovat elektromotorek, rozhoduje polarita. Každé elektricky ovládané okno je řízeno spínačem, který má tři polohy. Neutrální poloha, kdy je okénko v klidu. Poloha nahoru okno přivírá a poloha dolů okno otevírá.

Při zavírání oken je ve funkci i tzv. omezovač přebytečné síly. Ten má zabránit násilnému sevření částí těla při zvedání skla. Jakmile mechanismus zjistí, že je sevřena určitá část těla, tak motorek okamžitě změni směr otáčení. Tato ochrana působí v rozsahu 200 – 4 mm před zavřením okna. Aby však bylo možné okno zavřít, tak před zasunutím okna do okenního těsnění je ochrana vybavena, přitom se provádí i zpětné hlášení polohy okna [5].

1.4 Elektrické ovládání polohy sedadla

Elektricky ovládaná sedadla jsou velmi výhodná v automobilech, kde dochází k častému střídání řidičů. Je tedy nutné, aby takové elektricky ovládané sedadlo mělo paměť, díky které si bude pamatovat polohu pro každého řidiče. Ovšem důležité je i správné nastavení volantu. Tento systém patří do více vybavených automobilů.

Obvyklá kostra (obr. 6) je složena ze čtyř kompaktních převodů, se kterými jsou spojeny elektromotory. Motor a převodovka jsou spojeny přes čtyřhran. Jeden převod je pro výškové nastavení, druhý je použit jako kombinovaný a ovládá délkové a výškové nastavení. Další systém je složen ze tří stejných převodových motorů. Každý motor má čtyři převody pro výškové nastavení a dva převody pro délkové nastavení. Přenos síly z motorů na převody je proveden ohebnými hřídeli.



- (1) Vyklenutí opěradla.
- (2) Úhlové nastavení opěradla.
- (3) Hloubkové nastavení sedáku.
- (4) Výškové nastavení opěrky hlavy.
- (5) Výškové nastavení sedadla.
- (6) Podélné nastavení sedadla.

Obrázek 6: Směry pohybu elektricky ovládaného sedadla [4]

Kostra sedadel se může různě lišit. Vylepšení může být ještě provedeno přidáním břišní větve bezpečnostního pásu a hrudní větve, připevněné na opěradle. Tím můžeme docílit optimálního nastavení pásu pro různě veliké postavy lidí. Toto provedení již vyžaduje vyztužení kostry sedadla [7].

1.5 Klimatizační zařízení

Tato zařízení slouží k upravování parametrů vzduchu, většinou teploty, tlaku a někdy i vlhkosti, zvláště v případech kdy je nutné odmlžování čelního skla v důsledku bezpečnosti výhledu řidiče. Parametry vzduchu se upravují nezávislé na stavu vnějšího ovzduší. U některých automobilů se zařízení používá i pro chlazení v prostoru nákladu, což může být např. převoz potravin.

Nejjednodušším zařízením je systém větrání kabiny. Ten však umožňuje pouze snížení nebo zvýšení teploty. Systém je složen z elektrického ventilátoru, který pod nápořem tlačí vzduch do kabiny anebo je schopen provádět i cirkulaci vzduchu. Systémy fungují hluboko pod bod mrazu, ovšem při teplotách kolem 30 °C už začínají dost zaostávat a nesplňují požadovanou kvalitu vzduchu. Za těchto podmínek se používají klimatizační zařízení.

1.5.1 Vytápění a větrání

U všech soustav, kde dochází k výměně vzduchu, je využit stejnosměrný elektromotor, který pohání axiální nebo radiální ventilátor. Na elektromotor je kladen požadavek, aby byl málo hlučný, bezúdržbový a bylo možné jej ovládat alespoň dvěma rychlostmi. Stále častěji jsou používány i motorky s elektronickou komutací, což umožňuje kvalitně regulovat rychlost otáček. Výkony elektromotorků jsou asi 250 W s účinností asi 70 %. Elektronický řídicí systém je přímo zabudován do skříně motorku. Díky bezkartáčovému provedení není motorek zdrojem vysokofrekvenčního rušení, které má vliv na audio-video zařízení.

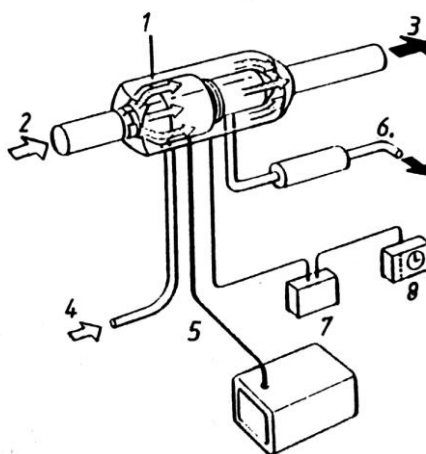
Systémy vytápění se rozdělují na soustavy závislé na motoru a s vlastním zdrojem energie. Závislé soustavy lze regulovat změnou průtočných průřezů nebo změnou rychlosti proudění. Tyto mechanické úkony lze snadno zautomatizovat elektronickým systémem, jež má řadu teplotních čidel. Čidla dávají povely členům měnící výkon a rychlost větrání. Takto vybavené soustavy mají průtočné čerpadlo, jehož rotor je přímo obtékán dopravovanou kapalinou. V mezeře mezi magnetickým rotorem a elektronickou částí je plastový válec, který zabraňuje kapalině prostup do statoru. Otáčky čerpadla jsou asi 500 až 3500 l/min.

Pro klasický automobil je tepelný výkon větrání a vytápění asi 5 kW a proudění vzduchu je asi 400 m³/h. Pro tyto požadavky stačí elektromotor s odběrem 15 A. Klasický představitel ventilátoru vytápění je na obr. 7 [7].



Obrázek 7: Ventilátor vytápění
automobilu Felicia

Nezávislá vytápěcí soustava je složena z elektrického hořáku spalující palivo, buď benzin, nebo naftu. Typický představitel nezávislého systému vytápění je na obr. 8. Do ohřívací komory (1) je přiváděn vzduch (2) zároveň i s palivem (5). Ve spalovací komoře dochází elektrickému zapálení a ohřívání vzduchu. Celý systém je řízen termostatem a řídicí jednotkou (7) a (8). Spaliny odcházejí ze spalovací komory odvodem spalin (6), který musí být dostatečně oddělen od okruhu vzduchu. Ohřátý vzduch vystupuje ze soustavy (3), kde následně pokračuje do kabiny. Toto řešení vylepšuje startování motoru za nízkých teplot a navíc je kabina vyhřátá, takže řidič má i větší pohodlí [7].

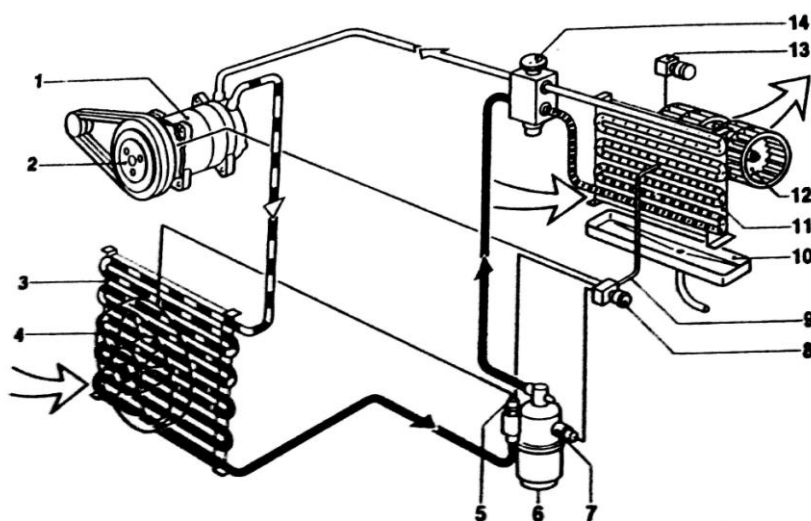


Obrázek 8: Nezávislá vytápěcí soustava [5]

1.5.2 Klimatizace

Klimatizace již zdokonaluje ochlazování vzduchu v letních teplotách. Téměř výhradně jsou používány kompresory, jež jsou poháněné přímo od motoru. Právě proto, pokud spustíme klimatizaci, dochází k nepatrné změně ve spotřebě. Jako chladivo se využíval freon, ovšem ten se nahrazuje palivem označeným R134a.

Na obrázku č. 9 je zobrazena chladicí soustava. Kompresor stlačuje páry chladiva a tím dochází k ohřívání, v kondenzátoru dochází ke zkapalnění a následnému ochlazení kapaliny. Kapalné palivo je přiváděno do výparníku, kde se, jak už název vypovídá, odpařuje a ohřívá, čímž odebírá teplo vzduchu přes výparník do kabiny. Odpařené palivo jde opět na kompresor, kde celý proces probíhá znovu. Jelikož je těžké celý proces regulovat, tak klimatizovaný vzduch o nízké teplotě upravujeme ohříváním ve vytápěné soustavě [5].



Obrázek 9: Klimatizační soustava [5]

1 – kompresor, 2 – el-mag. spojka, 3 – kondenzátor, 4 – přidavný větrák, 5 – vysokotlaký spínač, 6 – zásobník chladiva, 7 – nízkotlaký spínač, 8 – teplotní spínač, 9 – teplotní čidlo, 10 – jímka kondenzátu, 11 – výparník, 12 – větrák výparníku, 13 – spínač větráku, 14 – expanzní ventil

1.6 Elektromotory v motorovém prostoru automobilu

Důležité části pro správný chod automobilu je umístěn právě v motorovém prostoru automobilu. V této části se totiž nachází základní elektrické stroje, což jsou spouštěč a alternátor. Samozřejmě můžeme zde uvést i další představitele jako krokový motorek pro ovládání škrtící klapky, ale tyto motorky nejsou instalované ve všech automobilech [4].

1.6.1 Spouštěč

Hlavní část, sloužící pro uvedení motoru do pohybu, kdy spalovací motor překoná všechny své odpory, momenty, setrvačné síly. U zážehového motoru je důležité dosáhnout otáček 40 - 150 min^{-1} . U vznětového je potřeba dosáhnout otáček v rozmezí 80 - 100 min^{-1} . V některých případech stačí motor uvést do uvedených otáček a dojde k jeho spalovacímu procesu, ale v některých případech může dojít, že motor roztočíme na uvedenou mez a v těchto otáčkách je nutné motor držet, dokud nepřejde ze stavu nepravidelných zápalů až po pravidelný chod motoru.

Používají se různé soustavy pro spouštění motoru, např. pro velké těžební stroje jsou použity jako spouštěče klasické spalovací motory. Ovšem pro motorová vozidla stále zůstávají nejvhodnější elektrické spouštěče, což je elektrický motor, na jehož hřídeli je ozubené kolo, které zajíždí do velkého ozubeného věnce na setrvačnicku motoru [4].

Základní požadavky kladené na spouštěč:

- Jestliže je spouštěč v nečinnosti, musí být pastorek mimo záběr s ozubeným věncem setrvačnicku.
- Pokud není dokonalé zasunutí pastorku do setrvačnicku, pak nesmí být točivý moment velký, aby nedošlo k poškození.
- Je nutné, aby došlo k zasunutí pastorku, i když jsou zuby pastorku a věnce proti sobě.
- V plném záběru musí být spouštěč chráněn proti přetížení.
- Pastorek musí zůstat zcela zasunutý do setrvačnicku, dokud motor zcela správně nepracuje.
- Po úspěšném rozběhnutí motoru se musí pastorek vrátit do klidové polohy.
- Měl by vydržet alespoň 45 000 spuštění.
- Měl by být co nejméně náročný na údržbu.
- Musí být zaručena jeho funkčnost a to až do $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Konstrukce

Stator

Stator je zhotoven z bezešvé ocelové trubky. Uvnitř jsou po obvodu umístěny pólové nástavce, na nichž je umístěno statorové vinutí. Počet pólů udává rychlost a nejčastěji se používají čtyři. Vinutí je složeno z několika závitů vodiče značného průřezu, musí totiž odolat proudové hustotě větší než 30 A/mm^2 . Vodiče musí být od sebe vzájemně izolovány. Konce jsou vyvedeny na komutátor.

Rotor

Rotor je složen z plechů, z důvodu omezení vzniku vířivých proudů. Plechy jsou od sebe izolovány nejčastěji lakem. V drážkách rotoru je umístěno vinutí, jehož konce jsou spojeny k lamelám komutátoru. Stejnosměrné vinutí bývá buď vlnové, nebo smyčkové. V případě startéru se téměř výhradně používá vlnové vinutí. Potom stačí dva kartáče, ale používají se čtyři, vzhledem k proudovému zatížení. Hřídel je vložena do samomazných ložisek, umístěných ve víkách spouštěče. Je nutné, aby byl rotor vyvážen, mohlo by docházet nesymetrií k značným vibracím a následně krátkou životností ložisek.

Komutátor

Komutátor je mechanický usměrňovač. Slouží k přivedení napájení na rotor prostřednictvím kartáčů. Je uložen na hřídeli rotoru. Konstruován ve formě lamel, které jsou složeny z tvrdé mědi a od sebe izolovány plastem nebo mikanitem (izolační hmota ze slídy a pojidla). Na lamely jsou vyvedeny začátky a konce vinutí.

Kartáče

Kartáče bývají ve spouštěči čtyři. Navzájem posunuty o 90° . Kartáče jsou vyrobené z grafitu a je do nich za účelem zlepšení vodivosti, teplotní odolnosti přidán elektrolyticky čistý prášek, buď měděný anebo bronzový. To má za následek poměrně značné zvýšení součinitele tření mezi kartáči a lamelami, ale vzhledem k velmi krátké době provozu spouštěče to není příliš na závadu.

Držák kartáčů

Držák kartáčů musí být neustále ve stabilní poloze. Musí zajistit pohyb kartáčů, aby správně dosedaly na komutátor. Pohyb kartáčů a výslednou přitlačnou sílu zde tvoří pružinky. Síla by měla být optimální a to v rozmezí 10 - 16 N. Pokud by síla byla příliš velká, docházelo by k velkému opotřebování uhlíků. Na druhou stranu malá síla bude způsobovat velký přechodový odpor a tudíž i následný velký úbytek napětí, což by se projevilo opalováním lamel [4].

1.6.1.1 Základní druhy spouštěčů

Konstrukčně jsou všechny spouštěče stejné. Liší se pouze způsobu zasunutí pastorku do záběru s ozubeným věncem setrvačníku. Existují tedy 3 druhy spouštěčů, a to:

- S výsuvným pastorkem.
- S výsuvnou kotvou.
- Systém Bendix.

Spouštěč s výsuvným pastorkem

Spouštěč s výsuvným pastorkem je dnes již nejrozšířenější typ spouštěčů. Vyrábějí se ve výkonech od 500 W až po desítky kW. Tento typ spouštěče je opatřen pákovým mechanismem, který slouží k vysouvání pastorku. Pastorek je umístěn na hřídeli a je zároveň odpružen, aby byl zajištěn požadavek na dokonalé zasunutí pastorku do věnce setrvačníku. Páka je ovládána jádrem, které je po sepnutí vtahováno do cívky. V okamžiku kdy je pastorek téměř zasunut, sepne se kontakt pro otáčení motorku a následnému rozběhu spalovacího motoru. Po rozběhu, jak už jsem uvedl v požadavcích na spouštěč, se spouštěč vypne a pastorek se vrátí zpět do výchozí polohy [4].

Spouštěč s výsuvnou kotvou

Spouštěč s výsuvnou kotvou se chová jako spouštěč, kdy se nejedná o pákový mechanismus, ale vysouvá se celá kotva spouštěče. Celá konstrukce je složena ze tří vinutí. První je hlavní vinutí a další dvě jsou sériové a derivační vinutí. Při přivedení napětí na svorky spouštěče dojde nejprve k přivedení proudu na pomocná vinutí, která vtáhnou kotvu do magnetického pole statoru, zároveň dochází i k jeho pomalému otáčení. Tím zajistíme opět zasunutí pastorku do ozubeného věnce setrvačníku. Jakmile je pastorek zasunut, pak je sepnut hlavní kontakt, který přivede proud do hlavního vinutí, a dojde k plnému momentu na motoru. Po vypnutí spouštěče jsou rozpojeny hlavní kontakty a vratná pružina, která je umístěna uprostřed kotvy, posunuje kotvu zpět do výchozí polohy.

Z hlediska konstrukce mají tyto spouštěče hlavní nevýhodu, a to je velká váha kotvy. Ta může způsobit obtížné zasunutí pastorku do ozubeného věnce, pokud automobil stojí ve svahu. Navíc, aby nedocházelo při jízdě po nerovnostech, je nutné zajistit, aby pastorek nenarážel do setrvačníku. Toho docílíme silnější vratnou pružinou [4].

Spouštěč systému Bendix

Jeden z nejjednodušších systémů spouštěčů. Klasický stejnosměrný motor. Přímo na hřídeli je vysoustružen závit, ve kterém je posouván pastorek. Jakmile se roztočí spouštěč, pak vlivem setrvačnosti se začne pastorek posouvat směrem k ozubenému věnci. Až se pastorek vsune na doraz, dojde k otáčení celého setrvačníku. Jelikož při zasunutí pastorku působí velká síla, vlivem rychlosti otáčení kotvy, pak je tento náraz tlumen pružinou. Po rozběhnutí motoru je pastorek vrácen přes šroubovici opět do výchozí polohy.

Konstrukčně je tedy jednoduchý, ale jeho nevýhodami jsou značné opotřebovávání pastorku i ozubeného věnce, praskání tlumící pružiny i samovolné vsouvání pastorku do záběru. Postupně byl tento systém zdokonalován, ale už nebyl tak jednoduchý a levný, proto se více používají spouštěče s výsuvným pastorkem [4].

1.7 Další aplikace

1.7.1 Stejnosměrné motory dentální

Určitě všichni známe „bzučení“ vrtačky u zubaře. Jedná se o specifický zvuk, který vytváří malý elektromotor točící se několika tisíci otáčkami. Ano, právě motorem s různými typy nástavců se vrtají pacientům zuby. Nástavce je možné jednoduše měnit, aby byla práce zubaře efektivní.

Aby zubař mohl bez problémů pracovat s takovýmto nástrojem, je nutné, aby splňoval několik kritérií. Požadavky na motor:

- Lehký.
- Malý.
- Vysoké otáčky.

Malý a lehký musí být proto, aby jej dentista mohl používat jednou rukou. Vysoké otáčky jsou nutné z důvodů malých vrtáků, které by v důsledku nízkých otáček vůbec nedosáhly požadovaného výsledku. Vlastnosti takového motorku splňuje výborně komutátorový motor s permanentními magnety. Typický představitel dentálního motoru je od firmy ATAS, typ P2ED460 na obrázku 10.



Obrázek 10: Motor pro dentální použití [12]

Parametry motoru P2ED460:

Výkon: 32 W

Napětí: 24 V

Otáčky: 29 000 min⁻¹

Krytí: IP 30

Hmotnost: 0,08 Kg

Chlazení: vzduchem 0,25 - 0,5 MPa

1.7.2 Motorek pro otáčení talíře v mikrovlnné troubě

Nepostradatelnou součástí většiny domácností jsou mikrovlnné trouby sloužící pro ohřev. Ovšem pouze mikrovlnami by nedošlo k dokonalému ohřátí jídla, protože v určitých místech mikrovlnky dochází k „nulovému ohřevu“, což je způsobeno stojatým příčným vlněním. Proto je nutné, aby se talíř otáčel a docházelo k rovnoměrnému ohřevu v celém prostředí.

K otáčení talíře slouží synchronní elektromotorek, který je nejčastěji konstruován na síťové napětí 230 V. Avšak některé mikrovlnné trouby obsahují i motorky s napájením na 21 V, kde je napájení provedeno nejčastěji odbočkou z transformátoru. Typický představitel motorku ukázán na obrázku č. 11.



Parametry motorku:

Příkon: 4 W

Napětí: 220 – 240 V

Otáčky: 4 min⁻¹

Obrázek 11: Motorek pro otáčení talíře

1.7.3 Elektromotor ve vysavačích

Víme, že základní částí vysavače je ventilátor, který je poháněn elektromotorem. Nejčastěji používaným motorem ve vysavačích je jednofázový sériově buzený motor. Jedná se o univerzální motor, tzn. schopný pracovat se stejnosměrným i střídavým napětím.

„Díky tomu, že má univerzální motor zapojeno vinutí statoru a rotoru do série, můžeme ho připojit na stejnosměrný i na střídavý proud. Při napájení střídavým proudem pracuje stejně jako stejnosměrný motor, neboť, i když protéká vinutím rotoru a statoru proud pokaždé jiné polarity, na vodiče působí vždy síla stejného směru, protože vinutí jsou v sérii, a tak se v nich polarita proudu mění současně. Tyto motory mají přece jen několik odlišností od stejnosměrných motorů. Protože vinutím protéká střídavý proud, musí být stator i rotor složen z elektro-plechů, aby se snížily ztráty způsobené vířivými proudy (podobně jako u transformátoru se nepoužívá plné jádro, ale listové).“ [15]

Otáčky těchto motorů jsou velmi závislé na jeho zátěži. Pokud by takovýto motor běžel naprázdno, bez zátěže, roztočil by se tak rychle, že by mohlo dojít i k jeho poškození. Proto jsou tyto motory pevně spojovány s nějakou zátěží. V případě vysavače je to ventilátor. Otáčky motoru jdou snadno regulovat změnou efektivního napětí. Regulace otáček motoru probíhala dříve pomocí proměnného rezistoru, dnes však ve většině vysavačů nalezneme tyristory nebo triaky. Konstrukce motoru je zobrazena na obrázku č. 12.



Parametry motoru:

Příkon: 1,4 kW

Napětí: 230 V

Otáčky: dle zátěže

Obrázek 12: Motor vysavače 1,4 kW[15]

Nevýhodou sériově buzeného stejnosměrného motoru je stálé zatížení hřídele. U tohoto stroje musí být hřídel neustále zatížená, jinak by docházelo ke zvyšování otáček a následnému poškození motoru. Tento typ motoru je využíván i v trakčních pohonech vhodných pro veřejnou dopravu.

1.7.4 Motor pro ventilátory

Nejprve si definujeme co to je vlastně ventilátor. Ventilátor je stroj, který má osu rotace, kolem které jsou lopatky nebo vrtule sloužící ke stlačování plynů a par. Pro vyšší tlaky se používají především kompresory. Existuje několik základních konstrukcí, ale my si tu představíme dvě nejpoužívanější. Těmi jsou axiální a radiální systém.

Axiální systém

Tyto systémy jsou nejběžnější pro použití v domácnostech. Jsou to klasické pokojové ventilátory, nebo se může jednat o ventilátory sloužící pro cirkulaci vzduchu např. v koupelnách. U těchto systémů proudí vzduch ve směru osy otáčení oběžného kola. Lze je rozdělit na rovnotlaké, kde tlak před lopatkami i za nimi je stejný a tím dochází jen k urychlování vzduchu. Dále jsou to přetlakové, které za lopatkami vyvíjejí vyšší statický tlak.

Nejpoužívanější motor je jednofázový asynchronní motor, který může být i se stíněným pólem. Tento motor je představen ve 2. kapitole. Je možné je připojit přímo na síť. Představitelem axiálního ventilátoru vhodného pro menší průmyslové budovy je Mezaxial 3140 od firmy ATAS, který je na obrázku 13 [12].



Parametry axiálního motoru Mezaxial 3140:

Příkon: 21 W

Napětí: střídavé 24, 110, 230 V

Otáčky: 2600 min⁻¹

Průtok: 180 - 216 m³/h

Tlak: 33 - 43 Pa

*Obrázek 13: Axiální ventilátor
MEZAXIAL 3140 [12]*

Radiální systém

Jedná se o systém, který se používá více v průmyslovém prostředí. „Jednou z hlavních částí radiálního ventilátoru je oběžné kolo, jehož součástí jsou lopatky, zajišťující nasávání vzdušnin v axiálním směru a její výtlak ve směru kolmém na směr rotace. Funkce spirální skříně je přeměna kinetické energie dopravované látky na energii tlakovou.“

Podle tvaru lopatek oběžného kola se tyto ventilátory dělí s dopředně zahnutými lopatkami, zpětně zahnutými lopatkami a radiálně zakončenými lopatkami. Každý z těchto systémů má určité použití. S dopředně zahnutými lopatkami jsou levnější, kde i účinnost je řádově kolem 60 %. Kdežto ventilátory se zpětnými lopatkami vyvíjejí větší tlak a účinnost dosahuje až 85 %.

Pro radiální ventilátor se používá stejný typ motoru jako u předchozího představitele, kterým je tedy jednofázový asynchronní motor. Konstrukce radiálního ventilátoru je na obrázku 14. Z levé strany je nasáván vzduch do skříně, kde je vzduch lopatkami stlačen a následně odveden čtvercovým vývodem [13].



Parametry radiálního ventilátoru RATAS 3132:

Příkon: 80 W

Napětí: střídavé 230 V

Otáčky: 2440 min⁻¹

Průtok: 250 m³/h

Tlak: 280 Pa

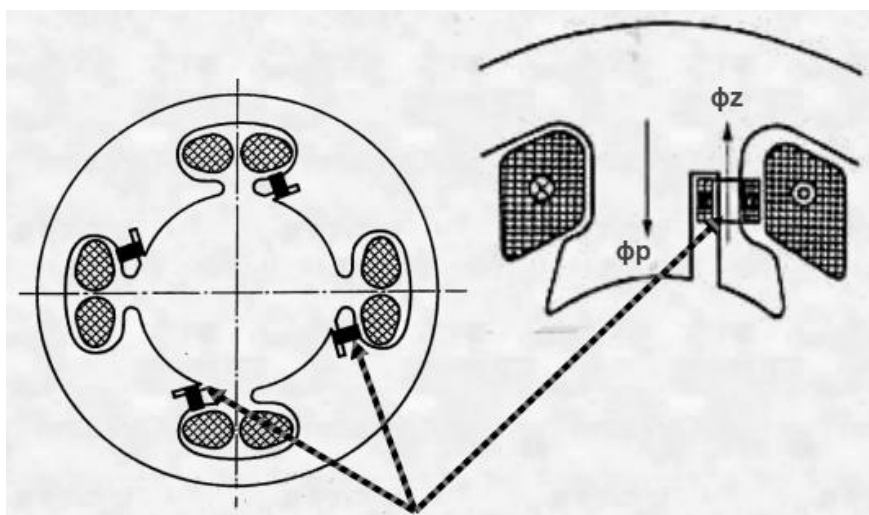
*Obrázek 14: Radiální ventilátor
RATAS 3132 [12]*

Pomocí parametrů dvou představitelů ventilátoru můžeme pozorovat, že radiální ventilátor má výrazně větší tlak než axiální. Ovšem možnou nevýhodou radiálního ventilátoru je schopnost šířit vibrace, proto se pomocí kompenzátorů chvění zamezuje těmto jevům [13].

1.7.5 Motorky se stíněným pólem

Tyto motory dělíme na rychloběžné a pomaloběžné. Stator rychloběžného motoru se stíněnými póly má oddělené póly. Od nich je oddělena drážkou menší část. Kolem tohoto odděleného (odstíněného) pólu je uloženo vinutí nakrátko. Tímto vinutím nakrátko prochází jen část magnetického toku statorového vinutí. Dochází tak k velkému rozptylu. Mezi proudem ve statorovém vinutí a proudem tekoucím vinutím nakrátko je fázový posun. Tyto fázově posunuté proudy vytvářejí magnetické pole, jehož magnetické póly se postupně posunují od jednoho statorového pólu k dalšímu. Toto nerovnoměrné točivé pole otáčí kotvou nakrátko.

Směr otáčení motoru se stíněnými póly směřuje vždy od hlavního pólu k oddělenému (odstíněnému) pólu. Směr otáčení je podmíněn uspořádaným pólu a nemůže být elektricky změněn. Je-li kotva vyrobena z magneticky tvrdého materiálu (hysterezní kotva), běží takový motor po rozběhu dále jako synchronní motor. Motory se stíněnými póly jsou robustní a levné. Kvůli malé účinnosti kolem 30% se vyrábějí tyto motory jen asi do výkonu 300 W. Používají se do větráku topení, kalových čerpadel od odstředivek prádla. Jako synchronní pohon jsou používány např. pro programové spínače (např. mechanické programátory praček). Provedení motorku je na obr. 15.



Obrázek 15: Stíněný pól ve statoru [6]

V určitých aplikacích jsou vyžadovány silnější rozběhy. A proto je možné použít asymetrické dvoupólové provedení, viz Obr. 16 [6].



*Obrázek 16: Motorek se stíněným pólem
firmy ATAS [6]*

Parametry motorku A24NL381:

- Výkon: 2 - 5 W
- Napájecí napětí: 230 V
- Otáčky jmenovité: 2400 min^{-1}
- Provoz: S1 (při dobrém povrchovém chlazení)
- Krytí: IP 20
- Hmotnost: 0,7 - 0,9 kg

2 STĚRAČOVÝ MOTOR

Stěračový motorek je velmi důležitá a povinná část výbavy automobilu. Jedná se totiž o část automobilu, která se stará o stírání kapek vody nebo sněhu. Toho docílíme pomocí dvou pryžových lišt umístěných na kovové konstrukci, která provádí kývavý pohyb. O pohyb se stará elektromotorek s převodovkou a mechanismem pro změnu pohybu otáčivého na pohyb kývavý. Ovšem nejedná se o nijak dobré řešení, protože přeci jen ne všem jsou jezdící stěrače po skle příjemné. Zatím se lepší řešení nepodařilo nalézt [2].

Stěrače osobních i užitkových automobilů musejí splňovat velké množství požadavků, které jsou:

- a) Souprava musí mít minimálně dvě rychlosti, které je možné mezi sebou přepínat, přitom nejmenší počet kyvů prvního stupně musí být 50 kyvů za minutu a minimální počet kyvů druhého stupně je 60 kyvů za minutu.
- b) Stěrač musí pracovat samostatně, pokud je zapnuta první nebo druhá rychlost. Po přepnutí do polohy vypnuto se musí stěrač vrátit do výchozí polohy.
- c) Rameno stěrače musí být odklopitelné od povrchu skla, kdy je nutné ruční čištění stěračů např. v zimě, kdy dochází k zamrznání.

Základní rozdělení stěračových motorků je:

- a) Jednorychlostní motorky
- b) Dvourychlostní motorky

2.1 Základní princip stěračového motoru

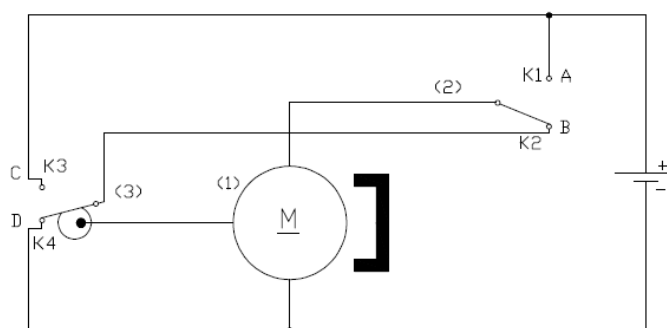
V hojném případě je stěračový motorek reprezentován stejnosměrným motorem s cizím buzením. Již jen výjimečně se používají motorky s derivačním buzením. Derivační buzení umožňuje plynulou i stupňovitou regulaci rychlosti. Motor s cizím buzením je reprezentován permanentním magnetem na statoru. Hlavní výhodou tohoto motorku je vysoká účinnost i přesto, že se jedná o poměrně jednoduchou konstrukci, což se dále odráží na ceně.

Motor s permanentním magnetem je možné regulovat zařazení třetího kartáče nebo elektroniky, tzv. cyklovače. Výkon potřebný pro stírací soupravu je závislý na velikosti a počtu ramen, přtlaku lišt na sklo. Další podmínkou je vysoká odolnost vůči tepelnému přetížení a případnému zkratu, která musí být nejméně 15 min. při zapnutém stírači a zastaveném pohybu mechanismu, např. při zamrznutí stírače [2].

2.1.1 Jednorychlostní motor

Tento motorek má pouze dva kartáče. Je vybaven doběhovým kontaktem, který zaručuje zastavení ramének v krajní poloze, bez ohledu na to kdy došlo k vypnutí hlavního obvodu. Aby nedošlo k překmitnutí, je motorek v koncové poloze elektricky brzděn.

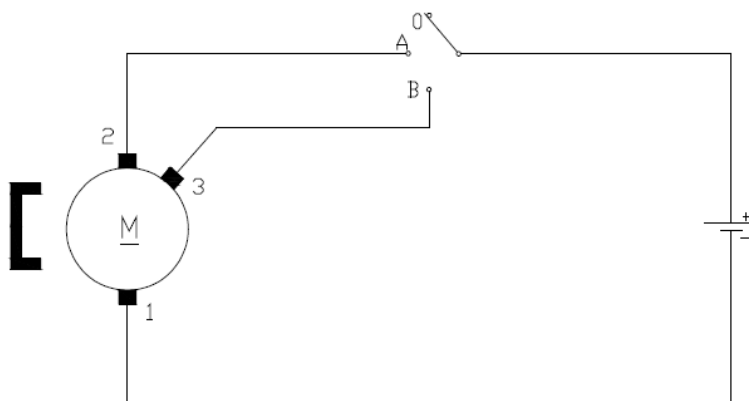
Uvedení jednorychlostního motorku do provozu probíhá přepínačem (obr. 17), který přes kontakt A zajišťuje přes sepnutý kontakt K1 napájení motorku. Po přepnutí do polohy B je motorek odpojen od napájení, ale přes sepnuté kontakty K2 a K3 je motorek stále napájen. Jakmile motorek otočí s vačkou do konce zdvihu, pak přesune přepínač do polohy D a tím spojí kontakty K2 a K4 a dojde k odpojení od napájení. Motorek se tedy už točí pouze setrvačností a indukují se proud, který se maří na odporech motoru. Motor je tedy brzděn [2].



Obrázek 17: Schéma zapojení jednorychlostního motorku pro stěrače [2]

2.1.2 Dvourychlostní motor

Dvourychlostní motorek, je vylepšený jednorychlostní motorek, který má přidáný třetí kartáč na komutátoru. Je-li přepínač v bodě A (obr. 18), pak je napájení přes kartáče 1 a 2 a otáčky jsou tedy jmenovité. Ovšem při přepnutí na kontakt B, je napájení provedeno přes kartáč 1 a 3. Napájení je tedy přivedeno na menší počet cívek rotoru a tím se musejí zvýšit otáčky. Doběhový kontakt je řešen stejně, jako u jednorychlostního motorku [2].

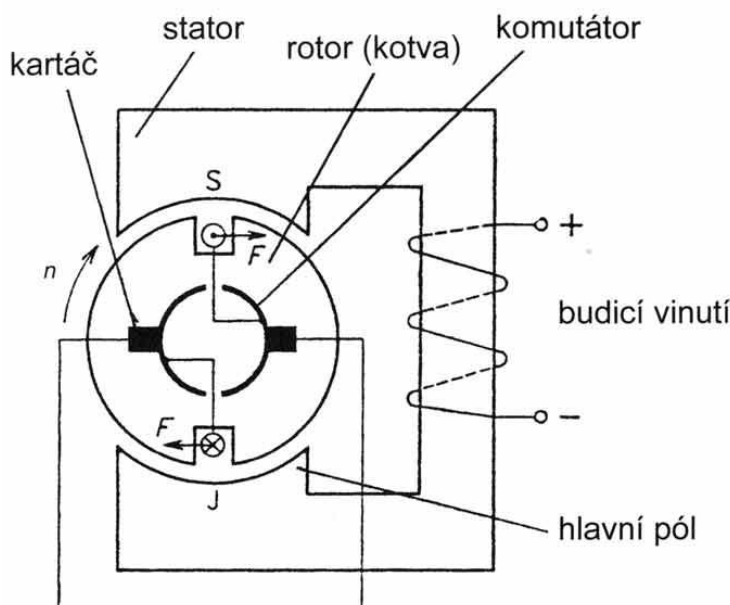


Obrázek 18: Schéma zapojení třetího kartáče na rotor [2]

2.2 Princip činnosti stejnosměrného stroje

Stejnosemřný elektromotor (viz. Obr. 19) se stejně jako každý elektrický točivý stroj skládá ze dvou základních částí:

- Statoru, na kterém je umístěné budicí vinutí L_b vytvářející hlavní magnetické pole
- Rotoru, ve kterém je vinutí kotvy L_r, do kterého je přiváděn proud přes komutátor



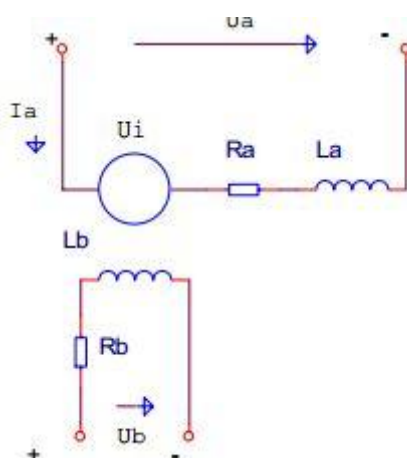
Obrázek 19: Základní konstrukce stejnosměrného motoru [14]

Kolem každého vodiče, ve kterém prochází elektrický proud, se vytvoří elektromagnetické pole, jehož indukční čáry mají tvar kružnic. Pokud takovýto vodič umístíme do jiného magnetického pole, pak se tato pole začnou navzájem ovlivňovat. Na jedné straně se budou vodiče sčítat a na druhé straně odečítat, čímž se deformují magnetické siločáry hlavního magnetického pole. Indukční čáry budou tláčit vodič z místa silnějšího magnetického pole do místa slabšího. Tím se vodič pohne, a pokud je vodič umístěn na hřídeli, pak se pootočí.

V případě, že jsou konce smyčky trvale připojeny na stejné póly (komutátor), tato smyčka je napájena stejnosměrným proudem přes dva kartáče, které dosedají na komutátor. Směr proudu určuje, zdali se jedná o motor či dynamo. Pokud je vodič, ve tvaru smyčky umístěn v magnetickém poli, pak dojde k jeho otáčení podle směru proudu. Abychom zaručili, že se rotor bude nadále otáčet, pak je nutné zajistit, aby vodičem pod magnetickým polem procházel stále stejný směr proudu. Toho docílíme umístěním kartáčů, kdy jeden je umístěn v blízkosti severního a druhý v blízkosti jižního pólu.

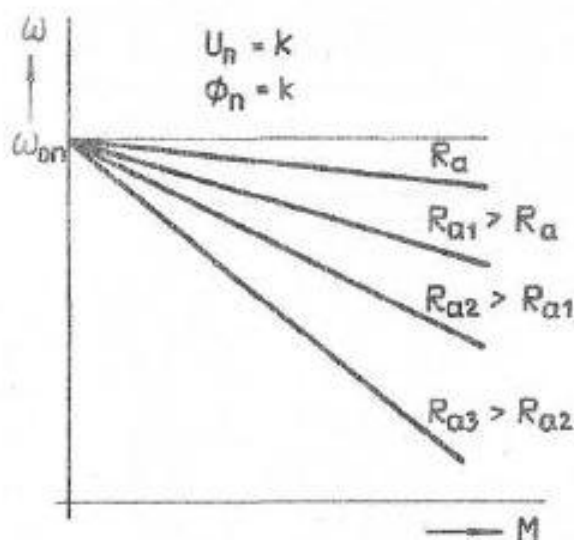
Motor s cizím buzením

Tento typ motoru je využíván téměř výhradně v regulačních pohonech pro nejrůznější aplikace. Přes dlouholetou usilovnou snahu nahradit pohon s cizím buzením motorem střídavým, má tento pohon dosud dominující postavení. Lze to vysvětlit celou řadou vlastností a poměrně nízkými pořizovacími náklady. Jeho předností proti střídavým regulačním pohonům je jednoduché regulační schéma a řízení měniče. Jednoduchá řiditelnost v obou směrech otáčení ve všech pracovních režimech. Vzhledem k tomu, že budící magnetický tok je kolmý ke směru proudu kotvy, tak motor vytváří maximální moment. U střídavých pohonů, lze těchto vlastností dosáhnout složitými regulačními obvody. Nejslabší místo je však komutátor a sběrné ústrojí pohonu. Základní schéma zapojení stejnosměrného motoru s cizím buzením je na obrázku 20 [1].

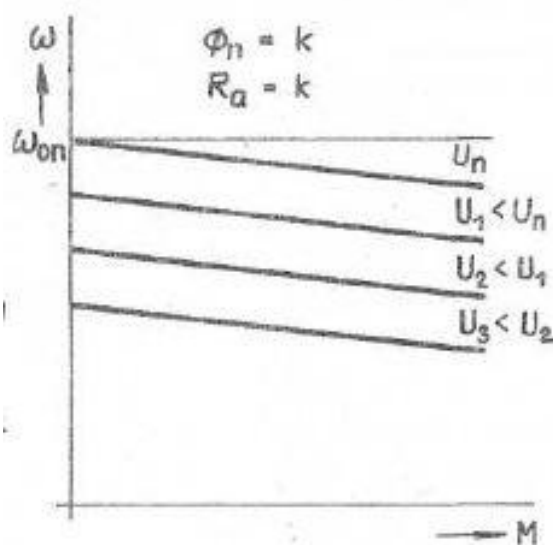


Obrázek 20: Schéma zapojení motoru s cizím buzením [14]

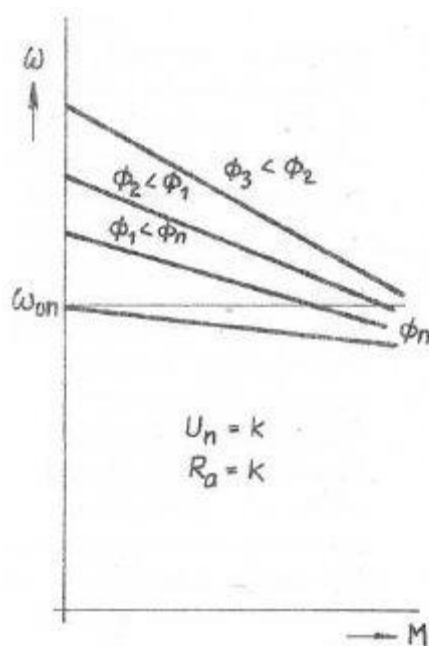
Změna otáček stejnosměrného motorku s cizím buzením je ukázána na následujících obrázcích 21, 22 a 23.



Obrázek 21: Charakteristiky motoru s cizím buzením - změna odporu [14]



Obrázek 23: Charakteristiky motoru s cizím buzením - změna napětí[14]



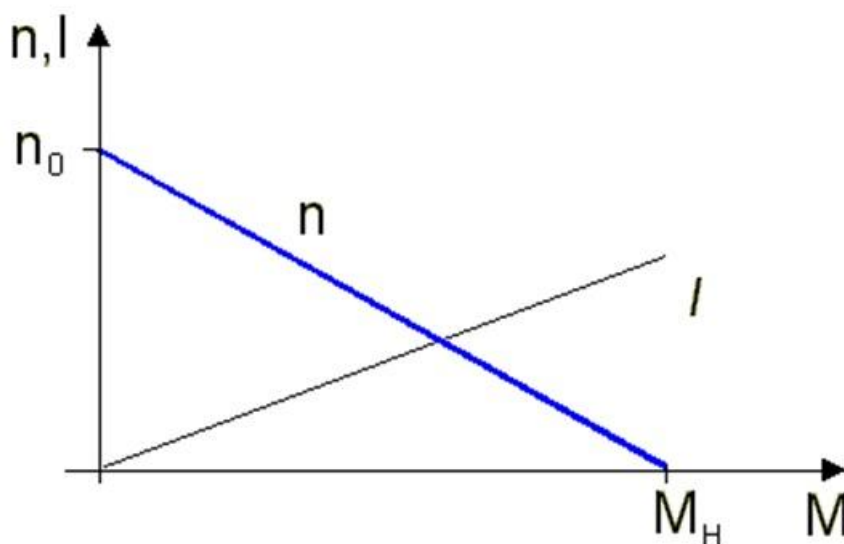
Obrázek 22: Charakteristiky motoru s cizím buzením - změna magnetického toku[14]

Motor s permanentními magnety

Motorky s buzením permanentními magnety jsou nejčastěji používanými motorky v automobilech. Jejich hlavní výhodou je jednoduchá konstrukce, snadná řiditelnost a výrobní cena.

Pole permanentně magnetizovaného motoru se tvoří mezi dvěma nebo více trvalými magnety. Nejčastěji používané magnety jsou feritové. Vzhledem k tomu, že motor nemá vinutí pro tvorbu magnetického pole, stačí pro jeho napájení dva vodiče.

Nejvýznamnější vlastností motoru s permanentními magnety je momentová charakteristika, kde jsou otáčky a proud přímo úměrné momentu, což je velmi výhodné pro různé výpočty. Charakteristika tohoto motoru je na obrázku 24.



Obrázek 24: Motor s buzením trvalými magnety

3 INOVACE A MODERNIZACE MOTORKŮ

Nejdéle používaným elektrickým motorem v automobilech je pro nás velmi známý a již zmiňovaný stejnosměrný motorek. Je zcela jasné, proč používáme právě tento typ motoru. V automobilech je hlavním zdrojem elektrické energie akumulátor, jež produkuje stejnosměrný proud, proto se používají v automobilech právě tyto motorky.

Firmy zabývající se výrobou motorků do automobilů se snaží tyto malé motory neustále zlepšovat. Hlavním cílem jejich snahy je dosáhnout menších rozměrů a váhy motoru. Těchto motorů může být v automobilu několik desítek, a to se projevuje i zvýšenou váhou automobilu. Ovšem na druhou stranu výrobci automobilů neradi přecházejí na nové „neodzkoušené“ motory, které mohou být ve výsledku účinnější. Ovšem tato vylepšení s sebou mohou nést určitá negativa jako např. výsledná cena motoru, která může být následně vyšší.

Jedna možnost vylepšení stejnosměrného motorku je využití jiných magnetických materiálů pro permanentní buzení stroje. Výsledkem použití takovýchto materiálů, bychom dosáhli změny hmotnosti, rozměrů, i když by výkon zůstal stejný nebo se mohl i zvýšit. Důležitým faktorem je i tvar ventilátoru, pokud motorek ventilátor má.

3.1 Neodymové magnety NdFeB

V současnosti se jedná o nejsilnější magnety s vynikajícími magnetickými vlastnostmi, jako je remanence a energetická hustota. Patří do skupiny magnetů založených na bázi vzácných zemin (lanthanoidy). Jejich hlavní složkou je železo s příměsí neodymu (Nd) a boru (B). Dalšími prvky, které se přidávají do finální slitiny, jsou hlavně kobalt (Co), dysprosium (Dy) - tyto složky slouží k vylepšení magnetických vlastností (remanence, koercitivní síla) a teplotní odolnosti magnetů. Magnety disponují velkou silou, jsou schopny unést více než tisíce násobek vlastní hmotnosti. Zajímavé je, že i cena je nižší než u Samárium-Cobaltových, o kterých si řekneme více v další podkapitole. Nevýhodou je malá teplotní odolnost. Neodymové magnety ztrácejí magnetické vlastnosti již při 80 °C, ovšem běžné feritové magnety jsou schopny bez problémů pracovat až do teplot 300 °C. Abychom tedy mohli tento typ magnetu použít, museli bychom zajistit lepší odvod tepla z motorku [9].

3.1.1 Chemické vlastnosti

Veškeré magnety ze vzácných zemin se považují za kovové materiály a vykazují podobné vlastnosti, např. bezprostředně po opracování typický lesk. Kyselé prostředí vede k rozpuštění, oproti tomuto jsou magnety do značné míry rezistentní v alkalických médiích. Neodymové magnety oxidují ve vlhké atmosféře poměrně málo. Magnety NdFeB se pomalu rozpouštějí. Povlakování povrchu je nezbytné. Povlakování je prováděno niklováním, zinkováním nebo se pokrývají pryskyřicí [10].

3.1.2 Mechanické vlastnosti

Permanentní neodymové magnety se kvůli jejich tvrdosti opracovávají diamantovým náradím. Při nárazech dochází lehce k odštípnutím resp. odprýsknutím povrchové vrstvy. Způsoby opracování jako broušení nebo řezání vodním paprskem jsou možné. Hustoty se pohybují kolem 7,5 g/cm³ (NdFeB). Mechanické vlastnosti magnetů pojených plastem jsou v

podstatě určovány použitým plastem. Oproti sintrovaným magnetům ze vzácných zemin je u magnetů spojených plastem jejich možné mechanické opracování, jako soustružení, frézování nebo vrtání, a to tvrdokovovým nářadím [10].

3.1.3 Způsob magnetizace

K namagnetování až k nasycení potřebují permanentní magnety ze vzácných zemin ve srovnání s tvrdými ferity přibližně dvou až čtyřnásobnou intenzitu magnetického pole.

Takové potřebné intenzity magnetického pole však už nelze dosáhnout pomocí systémů pro trvalé magnety. K tomuto jsou nezbytné systémy magnetovacích cívek s vysokým výkonem. Z diagramů lze vybrat intenzitu magnetického pole potřebnou k nasycení příslušného magnetického materiálu. Křivky se vztahují na jednotlivé skupiny materiálu a znázorňují intenzitu magnetického pole pro první namagnetování.

K přemagnetování nebo novému namagnetování kusů, odmagnetovaných ve střídavém poli, jsou nutné značně vyšší intenzity magnetického pole. Permanentní magnety s axiální nebo diametrální orientací jsou magnetovány v cívkách s pulzním polem. Vyžaduje-li aplikace určitý způsob magnetování (např. vícepólové sektorové), musí být zhotoveny speciální cívkové systémy přizpůsobené tvaru a rozměru permanentního magnetu [10].

3.2 Samarium-Kobaltový magnet

Samarium-kobaltový magnet je druhý nejsilnější typ permanentního magnetu. Patří také k vzácným zeminám. Hlavní složku tvoří samarium a kobalt. Tyto dvě hlavní složky mohou být v poměru 1:5 (SmCo_5) nebo 2:17 ($\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$). Poměr těchto dvou základních složek určuje další magnetické vlastnosti a maximální pracovní teplotu.

Oproti neodymovým magnetům, jsou samarium-kobaltové magnety silně odolné vůči korozi, a proto není nutné je povrchově povlakovat. Další výhodou je i teplotní odolnost. $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ jsou schopné bez problémů pracovat i při teplotách 350 °C.

Jejich nevýhodou je vyšší cena. Dalšími jejich nevýhodami jsou velká křehkost, malá odolnost vůči pnoucím silám a obzvláště velká náchylnost ke štěpení. Samarium-kobaltové magnety jsou extrémně odolné vůči působení vnějšího demagnetizačního pole. Tato vlastnost dělá samarium-kobaltové magnety obzvláště vhodné pro elektromechanické aplikace [11].

3.2.1 Způsob magnetizace

„Samarium kobaltové magnety jsou extrémně silné a vyžadují velké magnetizační pole. Anisotropní povaha spěkaných Samarium-kobaltových magnetů vyústí v jediný směr magnetizace. Tento směr magnetizace při zmagnetizování musí být zachován, když je magnet umístěn do konečné montáže. Často se měří indikátorem, který pozná specifický magnetický pól pro daný stroj či zařízení při výrobě. Tento pól je označen barevnou tečkou nebo laserovým výřezem [10].“

Porovnání výše uvedených magnetů z více hledisek můžeme shrnout v tabulce 1.

Materiál	Mechanická pevnost	Odolnost proti korozi	Teplotní stabilita	Náklady
NdFeB	střední	nízký	nízký	nízké
SmCo	nízký	vysoký	vysoký	vyšší

Tabulka 1: Srovnání NdFeB a SmCo magnetů [11]

3.3 Vyhodnocení použití magnetů ze vzácných zemin

V rámci řešení projektu firmy APS Světlá nad Sázavou byla řešena problematika nahrazení feritových magnetů magnety ze vzácných zemin. Získané poznatky byly aplikovány na jednoho představitele, kde bylo výchozím kritériem zachování vnějších rozměrů stroje se současným navýšením jmenovitého krouticího momentu a zvýšení účinnosti. Zároveň bylo nutné zachovat oteplení. Aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků, původní motor s feritovými magnety byl pečlivě přepočítán [8].

Výsledkem inovovaného motorku bylo patrné, že bylo dosaženo až 50 % nárůstu krouticího momentu při zvýšení účinnosti o 10 %. Bylo nutné ještě podotknout určité nevýhody. Bylo nutné zesílit statorový plášť, čímž se lehce zvýšila cena. Prakticky velká nevýhoda je v ceně použitých magnetů. Magnety ze vzácných zemin tvoří 50 % celkové ceny motoru, což je pro nasazení v konkurenčním prostředí neúnosné [8].

4 MĚŘENÍ VYBRANÝCH MOTORKŮ FIRMY APS SVĚTLÁ NAD SÁZAVOU

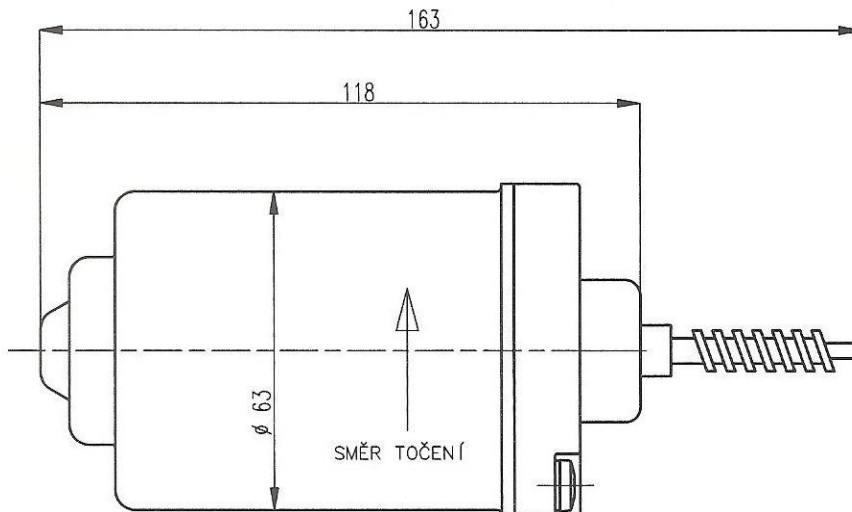
Výrobce následujících stejnosměrných motorků je česká firma APS Světla nad Sázavou a.s. Jedná se o elektromotor pro trvalé i krátkodobé zatížení. Jedná se o motory na napětí 12 V i 24 V. Jejich využití je především jako stěračové motorky a motorky pro ventilátory, které potřebují pro svou správnou funkčnost chlazení.

4.1 Stejnosměrný motorek Typ.č. FR-TI1/69 bez převodovky

Motorek je určený pro pohon stěračů v automobilu. Napájený stejnosměrným napětím o velikosti 12 V.

	nízké otáčky	vysoké otáčky
Jmenovité napětí [V]	12	12
Jmenovitý proud [A]	5	6
Jmenovité otáčky [min ⁻¹]	2000	2750
Jmenovitý moment [N.m]	0,15	0,1

Tabulka 2: Parametry stejnosměrného motorku FR-TI1/69 bez převodovky



Obrázek 25: Technický náčrt motorku FR-TI1/69 z technické dokumentace výrobce

4.1.1 Výsledky měření

Motorek byl změřen pouze ve stavu naprázdno, nebylo možné jej změřit při zatížení. Důvodem bylo špatné uchycení k dynamometru. Proto byl změřen pouze stav naprázdno. Motorek nebyl před měřením zahřát na provozní teplotu.

Nízká rychlost			
U [V]	I _c [A]	P [W]	n [min ⁻¹]
14,23	0,91	12,97	3172,40

Vysoká rychlost			
U [V]	I _c [A]	P [W]	n [min ⁻¹]
14,21	2,49	35,38	8394,20

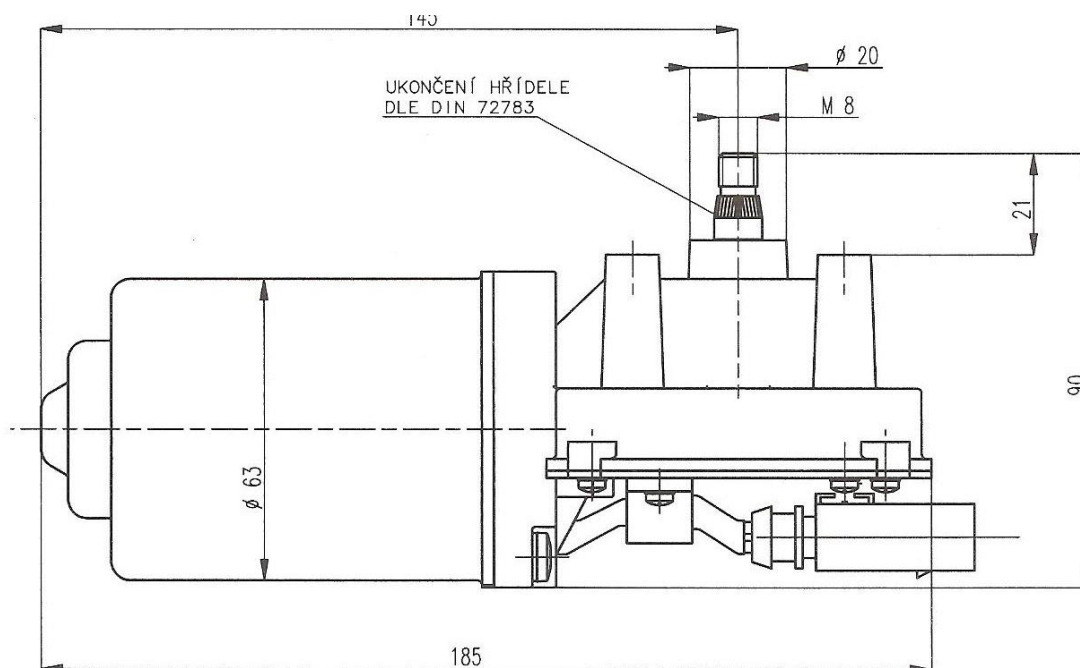
Tabulka 3: Měření naprázdno motoru FR-T11/69

4.2 Stejnosměrný motorek Typ.č. 8122272 s převodovkou

Motorek je určený pro pohon stěračů v automobilu. Napájený stejnosměrným napětím o velikosti 12 V. Motorek doplněný o převodovou skříň.

Jmenovité napětí [V]	12
Jmenovité proud [A]	8
Jmenovité otáčky [min ⁻¹]	38
Jmenovitý moment [N.m]	3,4

Tabulka 4: Parametry stejnosměrného motorku 8122272 s převodovkou



Obrázek 26: Technický náčrt motorku 8122272 z technické dokumentace výrobce

4.2.1 Výsledky měření

Měření naprázdno

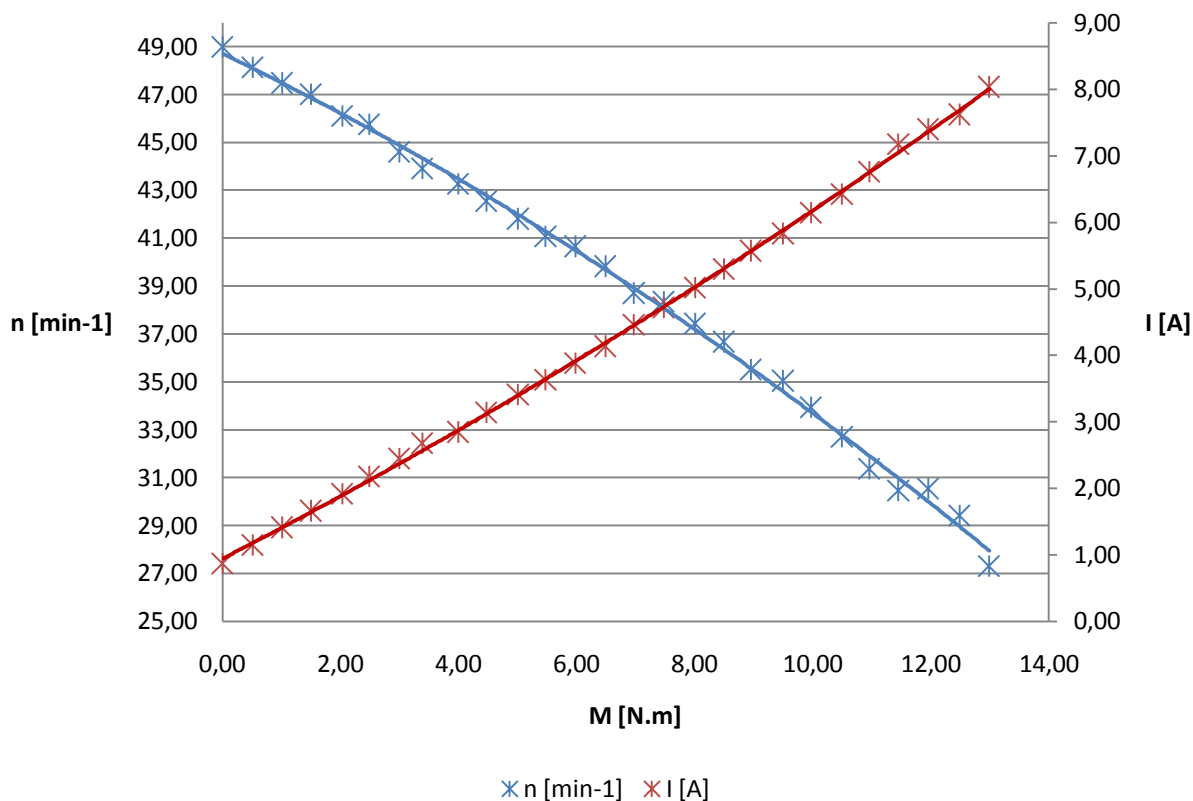
U [V]	I [A]	P [W]
14,198	0,746	10,594

Tabulka 5: Měření naprázdno motoru 8122272

Měření momentové charakteristiky

U [V]	I [A]	n [min ⁻¹]	M [N.m]	Pin [W]	Pout [W]	η [%]
14,20	0,86	48,98	0,00	12,24	0,00	0,00
14,18	1,15	48,13	0,51	16,26	2,55	15,68
14,17	1,41	47,48	1,01	19,95	5,02	25,16
14,22	1,66	47,00	1,49	23,60	7,35	31,13
14,20	1,92	46,10	2,03	27,21	9,78	35,93
14,24	2,17	45,75	2,48	30,92	11,90	38,50
14,22	2,44	44,60	2,99	34,72	13,97	40,25
14,21	2,68	43,90	3,39	38,03	15,57	40,94
14,20	2,84	43,27	3,99	40,37	18,07	44,76
14,23	3,14	42,53	4,47	44,67	19,90	44,54
14,22	3,41	41,80	5,01	48,42	21,91	45,26
14,20	3,63	41,08	5,47	51,52	23,53	45,67
14,22	3,88	40,65	5,98	55,17	25,45	46,14
14,21	4,13	39,83	6,48	58,71	27,04	46,06
14,18	4,46	38,70	6,97	63,22	28,24	44,67
14,24	4,71	38,34	7,47	67,12	30,00	44,70
14,22	5,01	37,43	8,01	71,25	31,39	44,05
14,20	5,29	36,67	8,49	75,14	32,60	43,39
14,18	5,57	35,50	8,95	78,98	33,28	42,14
14,22	5,83	35,03	9,50	82,84	34,85	42,06
14,20	6,14	33,93	9,97	87,21	35,43	40,62
14,22	6,42	32,70	10,50	91,28	35,95	39,38
14,20	6,76	31,37	10,96	95,94	35,98	37,51
14,17	7,17	30,45	11,45	101,57	36,51	35,95
14,16	7,40	30,53	11,95	104,72	38,22	36,50
14,20	7,62	29,40	12,49	108,18	38,46	35,55
14,47	8,03	27,30	12,99	116,23	37,13	31,95

Tabulka 6: Měření momentové charakteristiky motoru 8122272



Obrázek 27: Momentová charakteristika motoru 8122272 s převodovkou

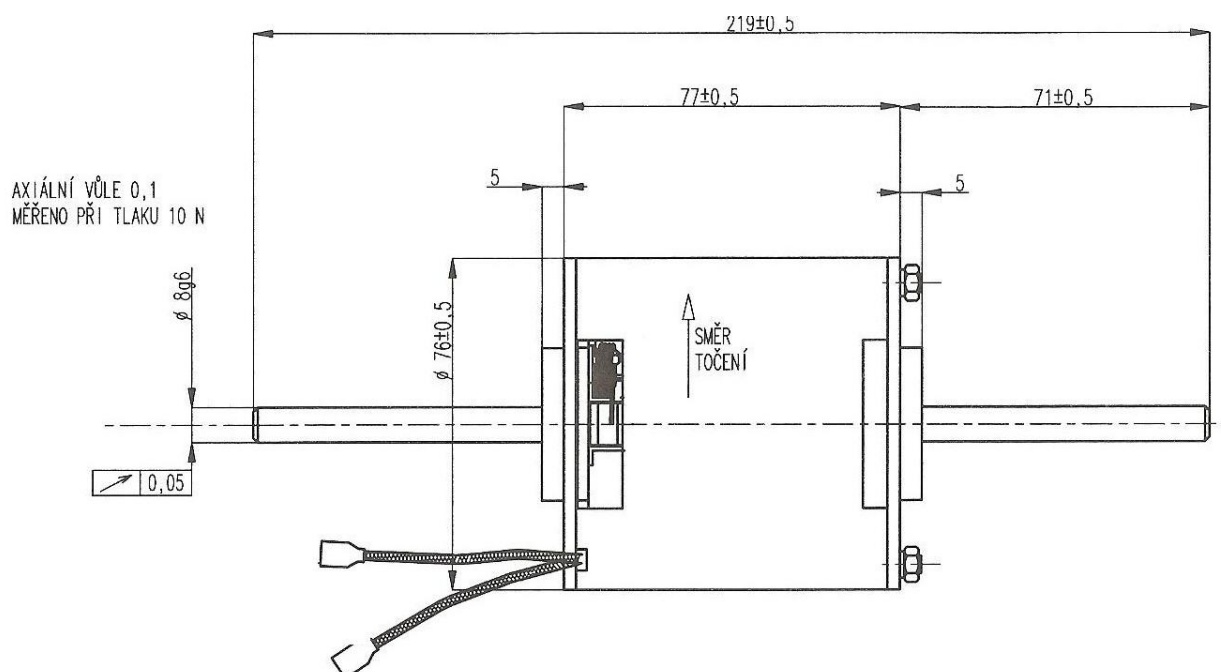
Motor nebyl před měřením zahřát na provozní teplotu. Zatěžovací charakteristika byla změřena od nulového zatížení až po jmenovitý proud motorem. Zde se výsledky výrazně lišily. Jmenovitý proud z výkresu je 8 A při momentu 3,4 N.m, Změřeno ovšem bylo 8,03 A a moment 12,99 N.m. Stav naprázdno byl změřen nakonec, po mechanickém odpojení motoru od zátěže.

4.3 Stejnoseměrný motorek Typ.č. KP-D5-61.270

Motorek je určený pro pohon ventilátoru topení v nákladních automobilech. Napájený stejnosměrným napětím o velikosti 24 V.

Jmenovité napětí [V]	24
Jmenovitý proud [A]	6
Jmenovitá otáčky [min ⁻¹]	4600
Jmenovitý moment [N.m]	0,2

Tabulka 7: Parametry stejnosměrného motorku KP-D5-61.2710



Obrázek 28: Technický nákres motorku KP-D5-61.2710 z technické dokumentace výrobce

4.3.1 Výsledky měření

Měření naprázdno

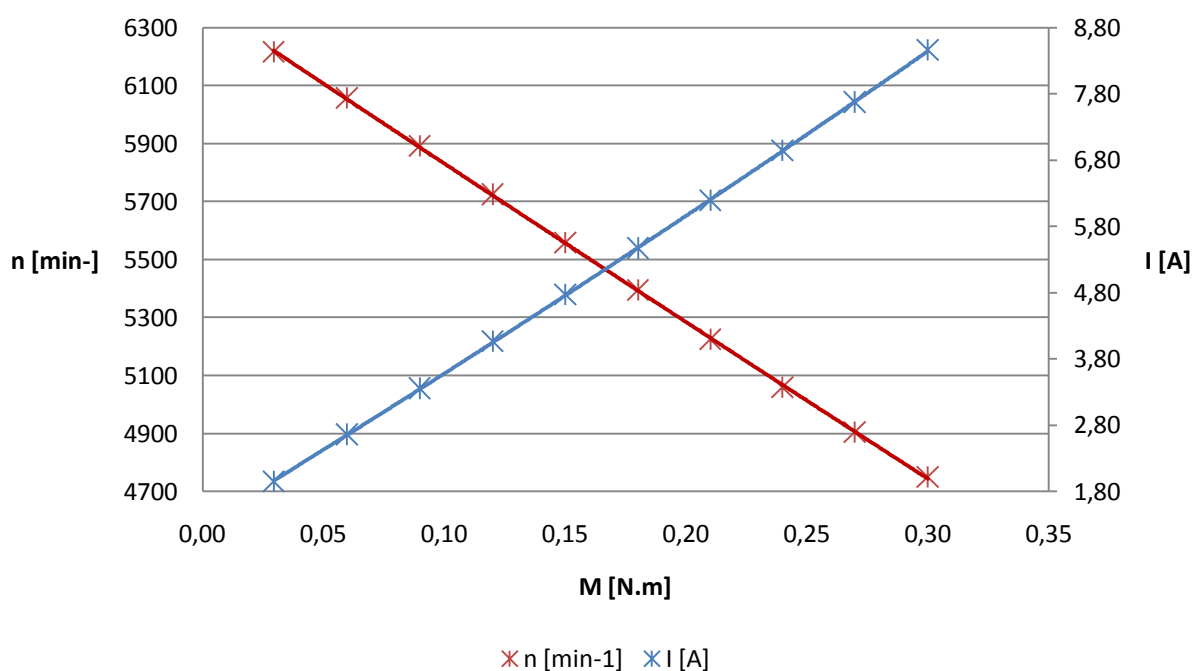
U [V]	I _c [A]	P [W]	n [min ⁻¹]
28,42	1,31	37,10	6132

Tabulka 8: Měření naprázdno motoru KP-D5-61.2710

Měření momentové charakteristiky

U [V]	I [A]	n [min ⁻¹]	M [N.m]	Pin [W]	Pout [W]	η [%]
28,24	8,46	4749,30	0,30	238,92	149,20	62,45
28,26	7,67	4903,80	0,27	216,88	138,55	63,88
28,28	6,94	5059,10	0,24	196,40	127,10	64,71
28,31	6,19	5224,90	0,21	175,21	114,96	65,61
28,33	5,47	5394,10	0,18	154,95	101,73	65,65
28,35	4,77	5557,70	0,15	135,18	87,36	64,63
28,37	4,07	5724,20	0,12	115,35	71,93	62,36
28,39	3,35	5892,00	0,09	95,24	55,41	58,17
28,41	2,66	6056,40	0,06	75,58	37,93	50,18
28,43	1,95	6215,85	0,03	55,49	19,14	34,49

Tabulka 9: Měření momentové charakteristiky motoru KP-D5-61.2710



Obrázek 29: Momentová charakteristika motoru KP-D5-61.2710

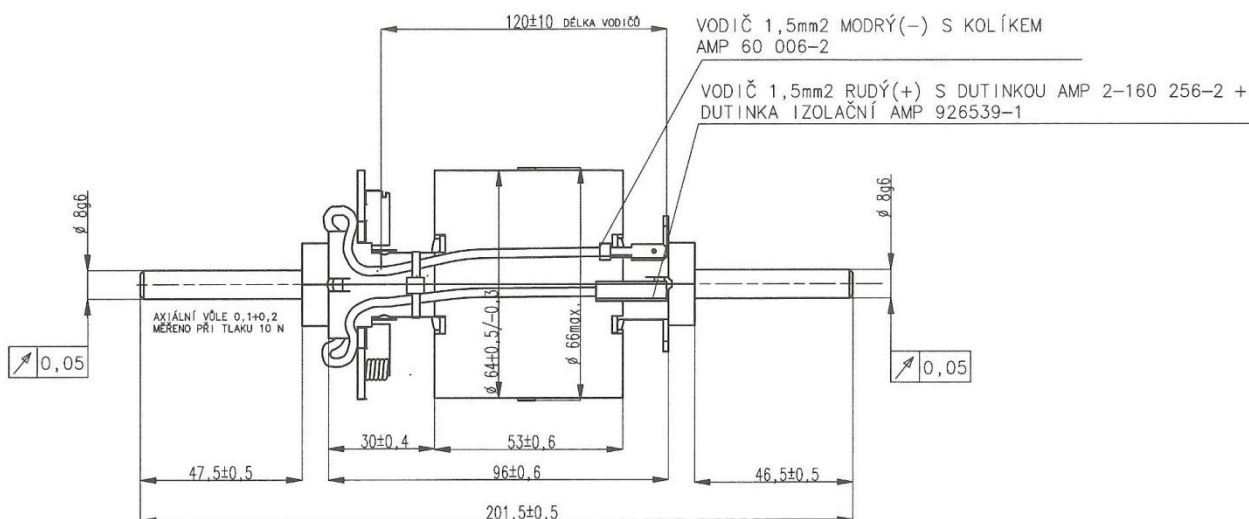
Motor nebyl před měřením zahřát na provozní teplotu. Nejdříve byl motor zatěžován momentem 0,3 N.m a následně se odlehčoval. Stav naprázdno byl změřen nakonec, po mechanickém odpojení motoru od zátěže. Z měření jsou patrné rozdíly, které mohou být způsobeny nezaběhlými kartáči.

4.4 Stejnosměrný motorek Typ.č. 443132238820

Motorek je určený pro pohon ventilátoru topení v nákladních automobilech. Napájený stejnosměrným napětím o velikosti 24 V. V provozu je nutné účinně chladit intenzivním proudem vzduchu.

Jmenovité napětí [V]	24
Jmenovitý proud [A]	8
Jmenovité otáčky [min ⁻¹]	3800
Jmenovitý moment [N.m]	0,2

Tabulka 10: Parametry stejnosměrného motorku 443132238820



Obrázek 30: Technický náčrtek motorku 443132238820 z technické dokumentace výrobce

4.4.1 Výsledky měření

Měření naprázdno

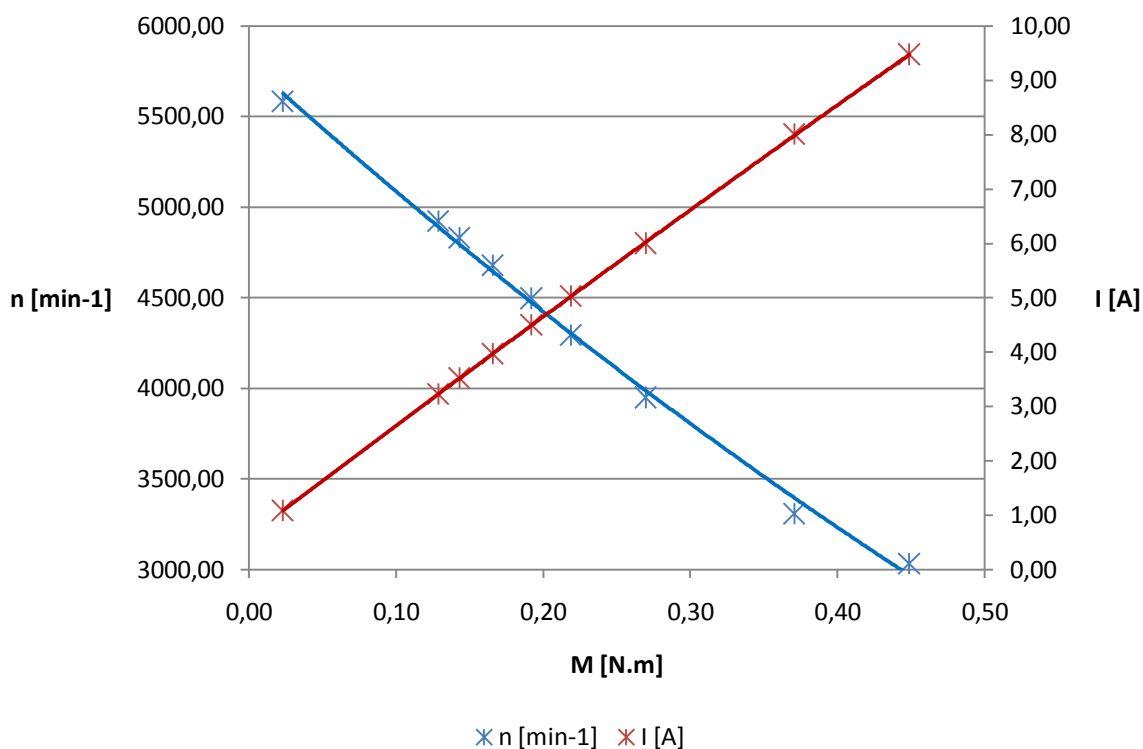
U [V]	I [A]	P [W]	n [min ⁻¹]
28,434	0,593	16,850	5544

Tabulka 11: Měření naprázdno motoru 443132238820

Měření momentové charakteristiky

U [V]	I [A]	n [min ⁻¹]	M [N.m]	Pin [W]	Pout [W]	η [%]
28,45	9,47	3031,33	0,45	269,47	142,42	52,85
28,40	8,01	3307,75	0,37	227,37	128,42	56,48
28,39	6,00	3949,00	0,27	170,41	111,45	65,40
28,43	5,03	4292,25	0,22	143,02	98,32	68,75
28,43	4,50	4496,00	0,19	128,00	90,40	70,62
28,41	3,97	4678,75	0,17	112,85	81,09	71,85
28,40	3,52	4830,50	0,14	99,94	72,34	72,38
28,41	3,23	4921,25	0,13	91,79	66,35	72,28
28,39	1,08	5582,75	0,02	30,74	13,45	43,74

Tabulka 12: Měření momentové charakteristiky motoru 443132238820



Obrázek 31: Momentová charakteristika motoru 443132238820

Motor nebyl před měřením zahřát na provozní teplotu. Nejdříve byl motor zatěžován momentem 0,45 N.m a následně se odlehčoval. Jmenovitých hodnot motor dosahoval při momentu 0,15 N.m. Stav naprázdno byl změřen nakonec, po mechanickém odpojení motoru od zátěže.

5 ANALÝZA STĚRAČOVÉHO MOTORKU

Pro rozbor byl vybrán stěračový motorek určený pro stěrače osobních automobilů od firmy APS s hřídelí vyvedenou na obě strany. Jedná se o komutátorový motorek s permanentními magnety. Jde o typ s výrobním číslem 8122272, jehož parametry jsou:

Napájecí napětí 12 V

Výkon 60 W

Odebíraný proud 5 A

Jmenovité otáčky $2000 \pm 15\% \text{ min}^{-1}$

Parametry motoru:

Průměr rotoru	41 mm
Délka rotorového svazku	40 mm
Počet pólů	$2p = 2$
Počet drážek	12
Hloubka drážky rotoru	10 mm
Plocha drážky	51 mm^2
Počet závitů	34
Průřez vodiče	0,56 mm
Vnější průměr statoru	63 mm
Vnitřní průměr statoru	58 mm
Výška magnetu	5,5 mm
Délka magnetu	45 mm

Tabulka 13: Základní parametry stěračového motorku

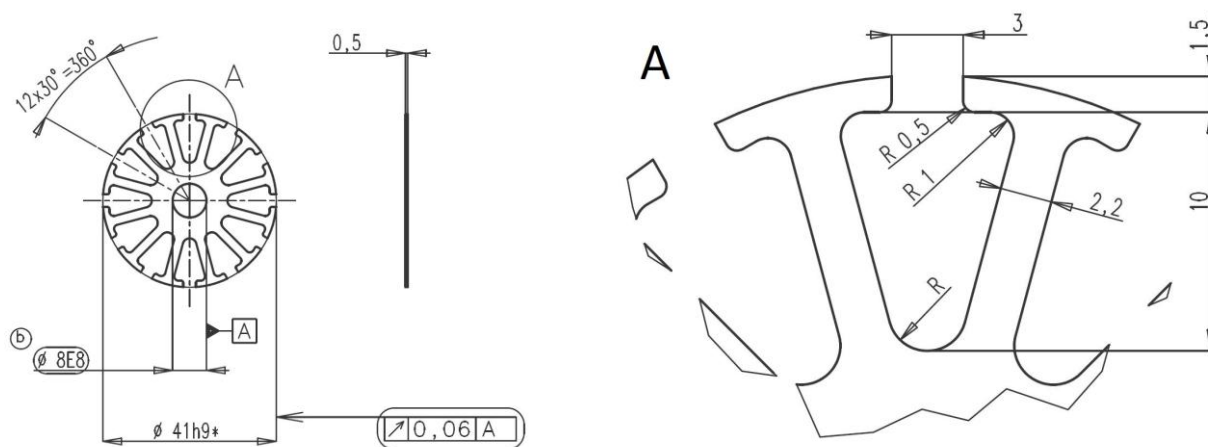
5.1 Analýza motorku

Motorek bude analyzován pomocí programu FEMM 4.2. Program FEMM 4.2 slouží k řešení elektromagnetických úloh pomocí dvourozměrných modelů metodou konečných prvků. Ta je účinná k řešení všech okrajových úloh popsaných diferenciálními rovnicemi a právě tato analýza se bude zabývat řešením magnetického obvodu námi zvoleného motorku metodou konečných prvků.

Materiály motorku zadané do programu FEMM 4.2 pro výpočet magnetického pole:

- Permanentní magnety – Ferit Durox D 310
- Vinutí – Měděný drát 0,56 mm
- Plech rotoru – M700 – 50A
- Kostra – ocel – 1010 Steel
- Hřídel – ocel – 1010 Steel

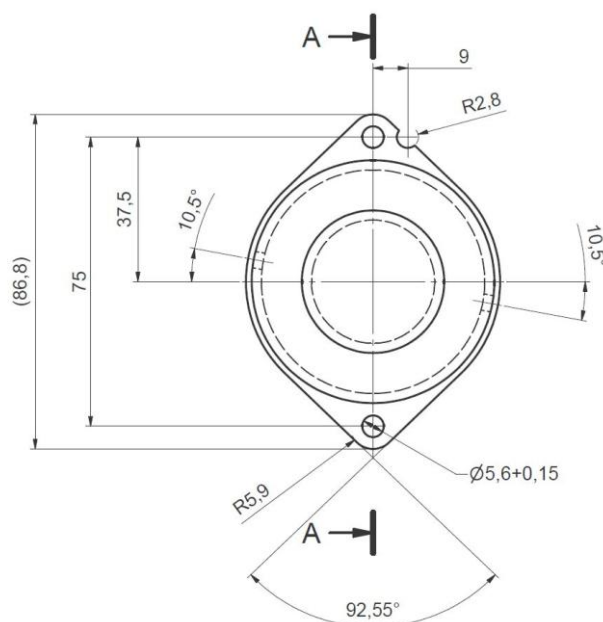
5.1.1 Rotor



Obrázek 32: Rotorový plech M700-50A

Průměr rotoru z technické dokumentace je 41 mm a délka rotoru je 40 mm. Rotor je složen z 80 plechů, každý s tloušťkou 0,5 mm. Má 12 drážek, každá s hloubkou 10 mm. Celková plocha drážky je 51 mm². Šířka zubu je 2,2 mm. Rotorem vede hřídel o průměru 8 mm. Vinutí má v drážkách paralelní větev. Každá cívka má 17 závitů, tudíž v jedné drážce je 34 vodičů o průměru 0,56 mm.

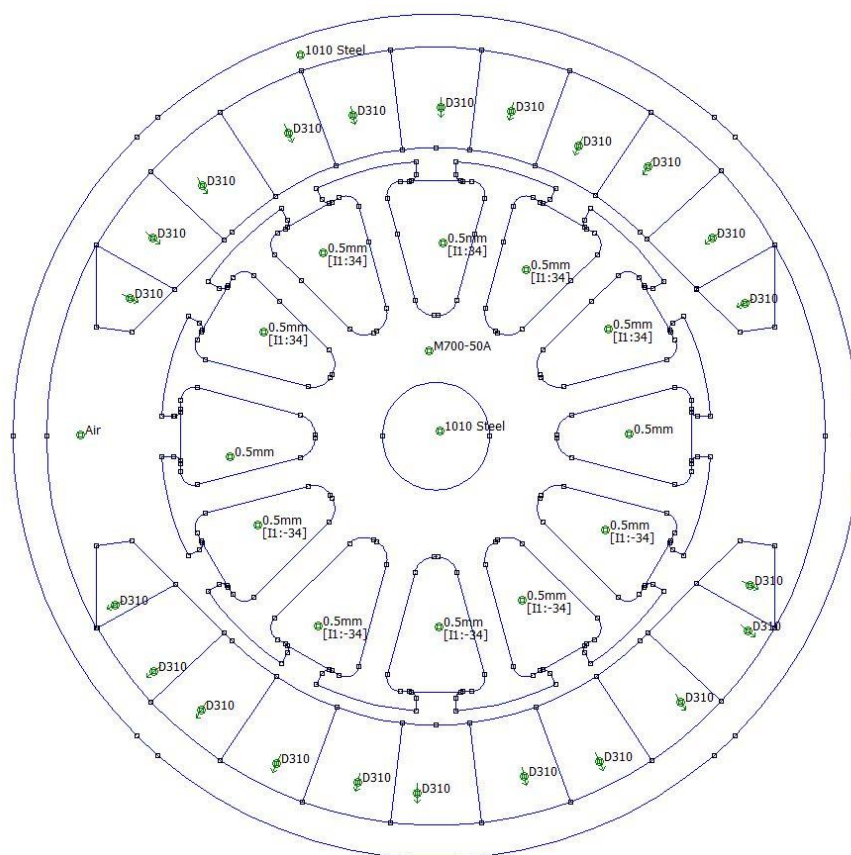
5.1.2 Stator



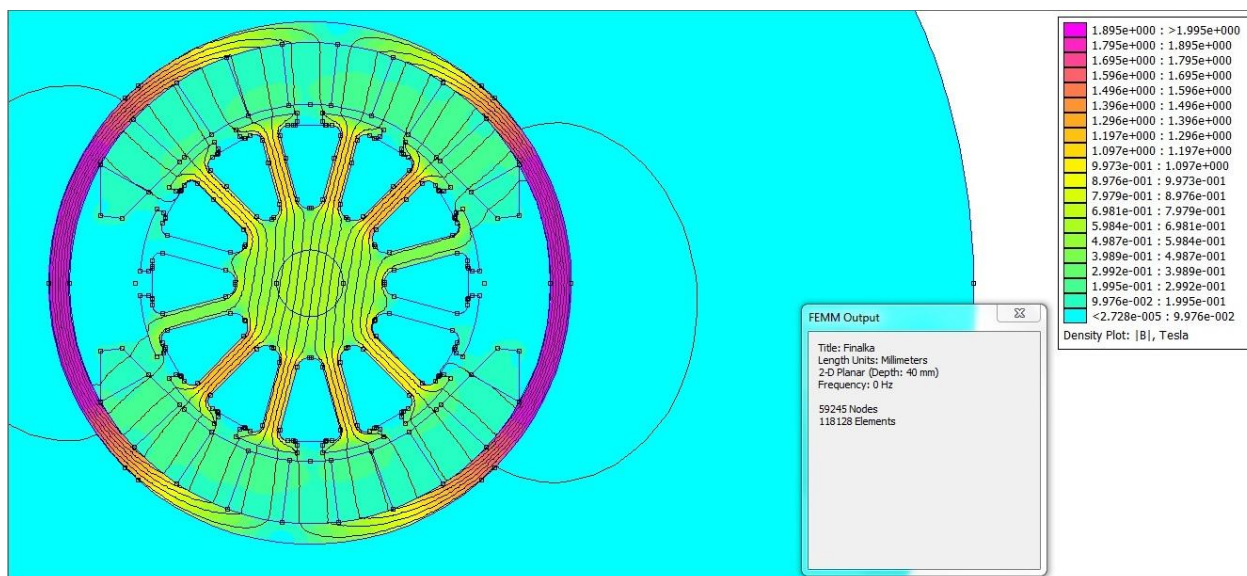
Obrázek 33: Stator, pohled zepředu

Průměry statoru jsou 63 mm vnější a 58 mm vnitřní. Délka permanentního magnetu je 45 mm a výška je 5,5 mm. Celý stator je tvořen ocelovou stáčenou trubkou.

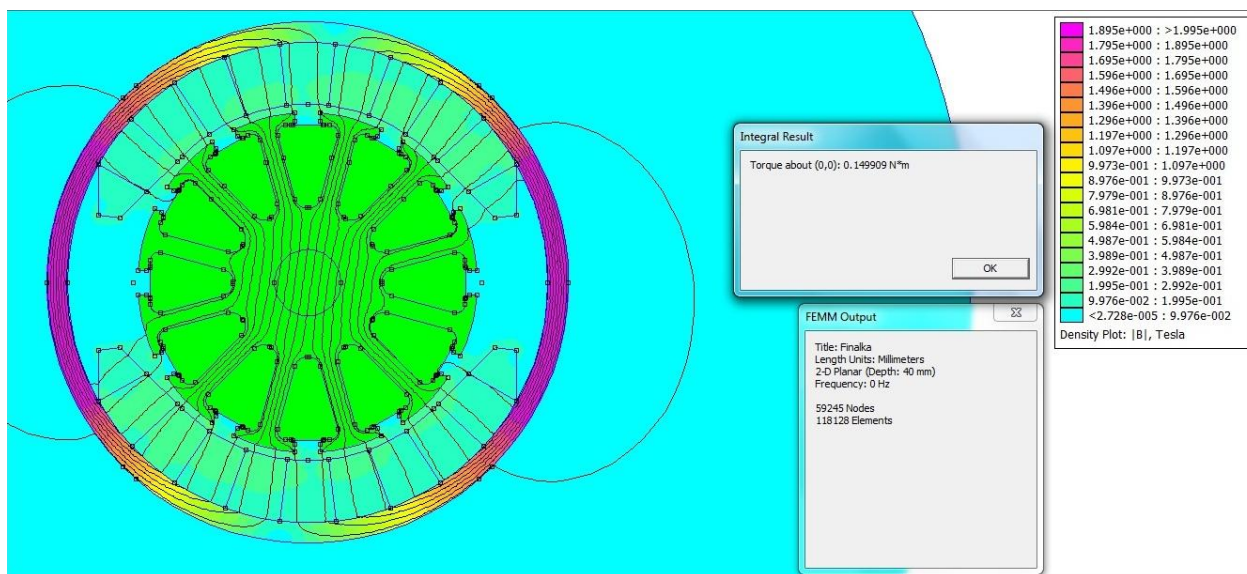
5.2 Výsledky analýzy pomocí programu FEMM



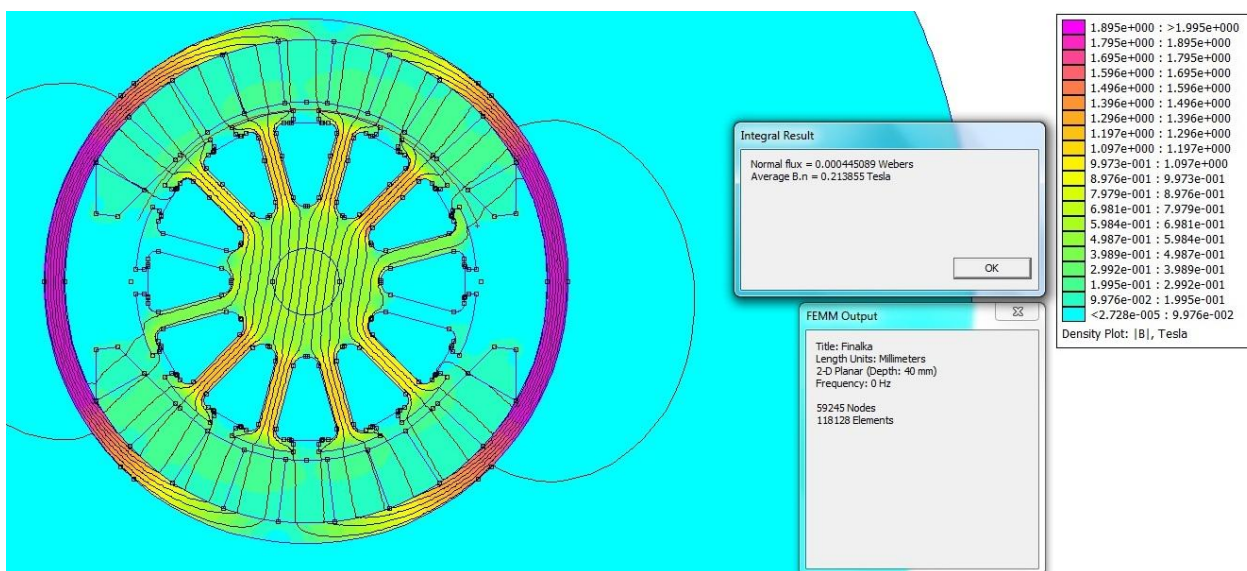
Obrázek 34: Řez motorem s přiřazenými materiály v programu FEMM
4.2



Obrázek 35: Rozložení magnetické indukce v motoru



Obrázek 36: Vnitřní moment při jmenovitém proudu



Obrázek 37: Magnetická indukce ve vzduchové mezeře

5.3 Výsledky analýzy původního motorku

Vytvořil jsem průřez stěračového motorku s přiřazenými materiály v programu FEMM 4.2. Výsledkem analýzy je zobrazení barevného rozložení magnetického pole v řezu motorku.

Pomocí programu FEMM 4.2 byla vypočtena indukce ve vzduchové mezeře $B_{\delta} = 0,214$ T, vnitřní (elektromagnetický) moment při jmenovitém proudu ve vinutí rotoru $M_i = 149,9$ mN.m. Maximální indukce byla vypočtena pomocí programu FEMM 4.2 ve jhu statoru a to 1,955 T. Maximální indukce v zubu je 1,229 T.

Indukce ve vzduchové mezeře	0,214 T
Indukce v zubu	1,229 T
Maximální indukce	1,955 T
Vnitřní moment	149,9 mN.m
Výška PM	5,5 mm
Vnější průměr statoru	63 mm
Jho statoru	2,5 mm

Tabulka 14: Výsledné parametry stěračového motorku

6 NÁVRH INOVOVANÉHO STĚRAČOVÉHO MOTORKU

Hlavním cílem inovace výše uvedeného stěračového motorku je použití magnetů ze vzácných zemin namísto použitého permanentního magnetu Durox D310. Můžeme vycházet ze dvou předpokladů – motorek správně plnil svou funkci, ale při současném minimalistickém trendu je zapotřebí zmenšit i rozměry stěračového motorku. Magnety Durox D310 by byly nahrazeny menšími magnety na bázi NdFeB, čímž by se motor zmenšil. Druhou možností je, že se objevil požadavek dimenzovat motorek pro náročnější provoz (větší výkon, resp. krouticí moment). Při zachování původních rozměrů lze tohoto požadavku dosáhnout použitím magnetů NdFeB o větší výšce. Tím se zvýší potřebné parametry pro správnou funkci celé stěračové soustavy.

6.1 Zachování výkonu při změně velikosti statoru

Vybral jsem si první variantu, kdy zachovám průměr rotoru, přepočítám výšku magnetů a statoru. Dalšími neměnnými parametry motorku bude pochopitelně napájecí napětí (12 V) a počet otáček motorku (2000 min⁻¹). Počet pólů motorku se taktéž nezmění. Velikost vzduchové mezery zůstává $\delta = 1$ mm a hodnota remanentní magnetické indukce v mezeře bude $B\delta = 0,75$ T. Vybírám si magnet NdFeB 32 MGOe.

6.1.1 Návrh nové výšky PM

Výpočet potřebné výšky magnetu lze provést na základě zvoleného pracovního bodu na demagnetizační charakteristice. Magnetické napětí permanentního magnetu U_{mPM} musí pokrýt úbytky magnetického napětí na vzduchové mezeře $U_{m\delta}$, feromagnetických částech U_{mFE} , a v případě nelineární B-H charakteristiky feromagnetických materiálů také demagnetizační účinek příčné reakce kotvy $U_{mREAKCE}$ při zatížení, což lze pro dva magnety popsat rovnicí

$$2 \cdot U_{mPM} = 2 \cdot U_{m\delta} + 2 \cdot U_{mFE} + U_{mREAKCE} \quad (1)$$

Při zanedbání vlivu reakce kotvy a úbytku magnetického napětí na feromagnetických částech se rovnice (1) zjednoduší na tvar

$$2 \cdot U_{mPM} = 2 \cdot U_{m\delta} \quad (2)$$

kde magnetické napětí na vzduchové mezeře $U_{m\delta}$ je dáno intenzitou magnetického pole ve vzduchové mezeře pod zubem $H_{\delta \max}$ a délkou vzduchové mezery δ

$$U_{m\delta} = H_{\delta \max} \cdot \delta \quad (3)$$

V důsledku drážkování statoru nebude velikost magnetické indukce pod pólem konstantní, ale v místě drážky dojde k jejímu poklesu, neboť toto otevření zde zvětšuje vzduchovou mezeru. V místě pod statorovým zubem, kde je délka vzduchové mezery δ , pak musí být velikost magnetické indukce vyšší $B_{\delta \max}$, aby bylo dosaženo požadované střední hodnoty magnetické indukce B_δ . Vliv drážkování je popsán Carterovým činitelem k_c

$$k_c = \frac{B_{\delta \max}}{B_{\delta}} \quad (4)$$

Carterův činitel lze vypočítat také z geometrických rozměrů

$$k_c = \frac{\tau_{ds}}{\tau_{ds} - \kappa \cdot b_{dsl}} \quad (5)$$

$$\kappa \approx \frac{\frac{b_{dsl}}{\delta}}{5 + \frac{b_{dsl}}{\delta}} = \frac{\frac{3}{0,7}}{5 + \frac{3}{0,7}} = 0,462 \quad (6)$$

$$\tau_{ds} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{\delta}}{Q_s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 20,5}{12} = 10,73 \text{ mm} \quad (7)$$

$$k_c = \frac{10,73}{10,73 - 0,462 \cdot 3} = 1,148 \quad (8)$$

a následně lze vypočítat magnetickou indukci pod zubem statoru

$$B_{\delta \max} = B_{\delta} \cdot k_c = 0,7 \cdot 1,148 = 0,8037 \text{ T} \quad (9)$$

Výška magnetu se vypočítá jako

$$l_{PM} = \frac{B_{\delta \max} \cdot \delta}{\mu_0 \cdot H_{PM}}, \quad (10)$$

$$\text{kde } H_{PM} = \frac{B_{\delta \max} - B_{PM}}{\mu_0 \cdot \mu_{r,PM}} = \frac{0,8037 - 1,160}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,045} = -271 \text{ kA/m}$$

Následně je tedy výška magnetu

$$l_{PM} = \frac{B_{\delta \max} \cdot \delta}{\mu_0 \cdot H_{PM}} = \frac{0,8037 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 271 \cdot 10^3} = 1,7 \text{ mm} \quad (11)$$

6.1.2 Analýza výpočtů motorku ve FEMM

Materiály motorku zadané do programu FEMM 4.2 pro výpočet magnetického pole:

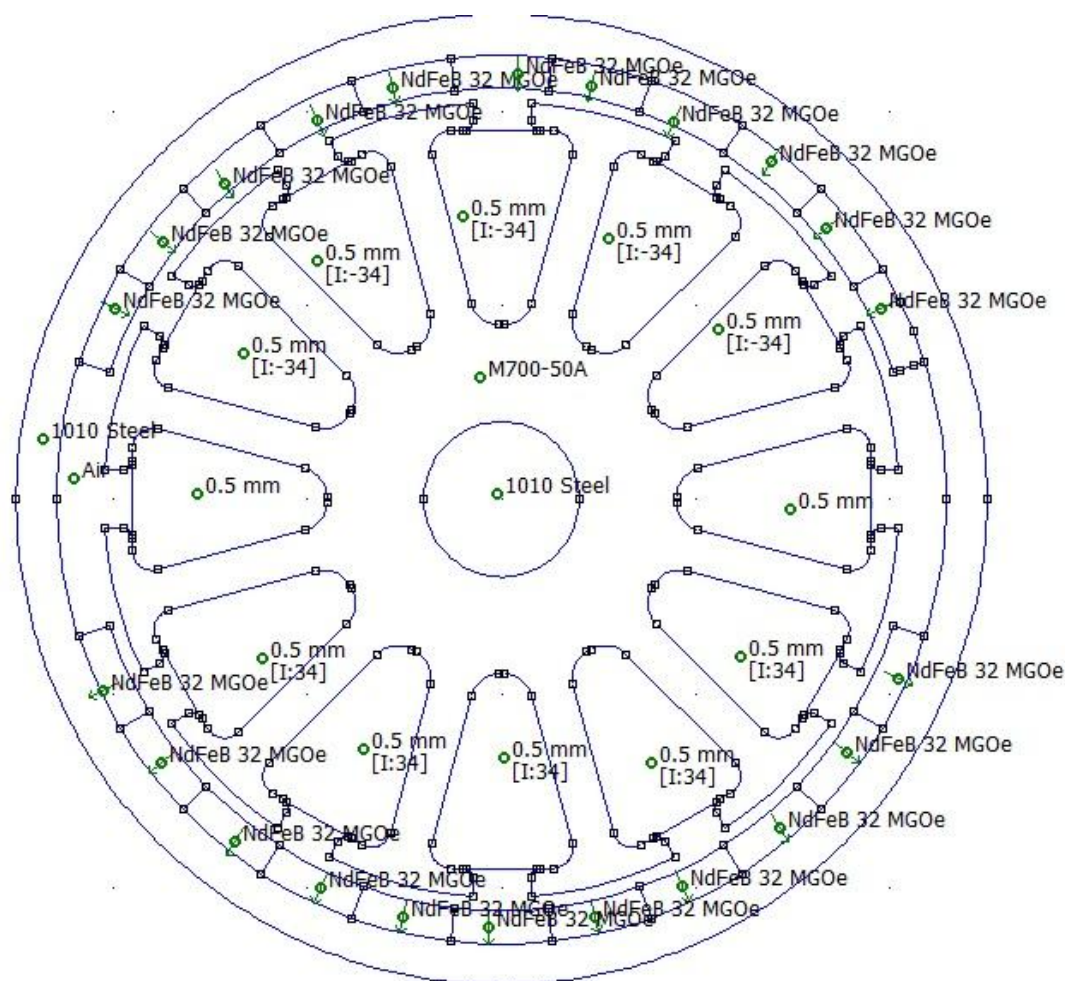
- magnety – NdFeB 32 MGOe
- Vinutí – Měděný drát 0,56 mm
- Plech rotoru – M700 – 50A
- Kostra – ocel – 1010 Steel
- Hřídel – ocel – 1010 Steel

Rotor

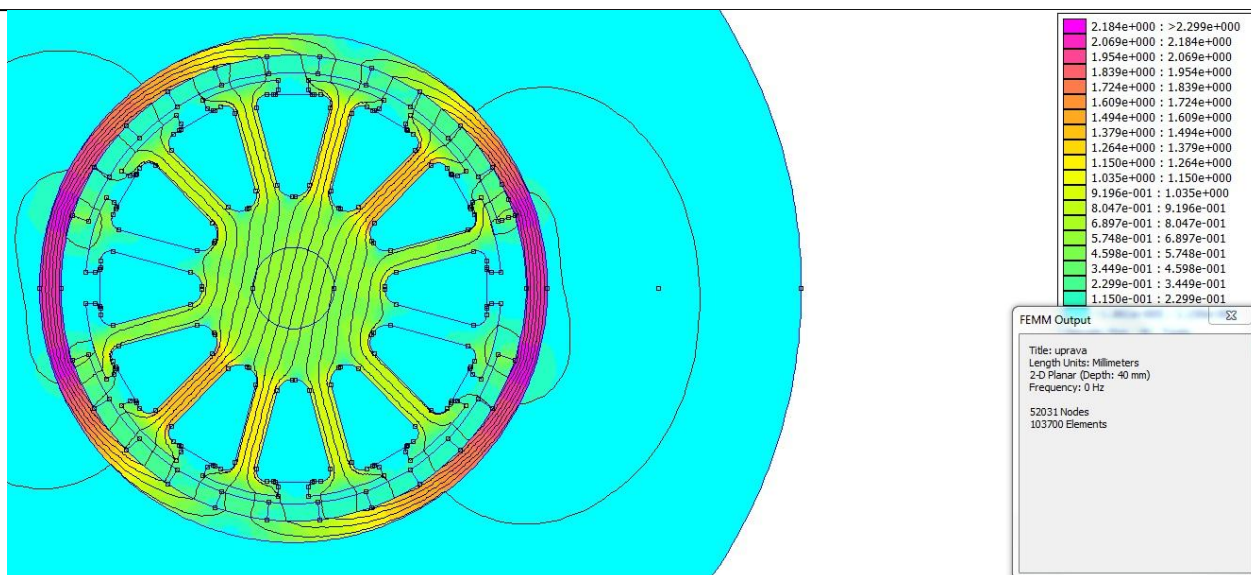
Průměr rotoru z technické dokumentace je 41 mm a délka rotoru je 40 mm. Rotor je složen z 80 plechů, každý s tloušťkou 0,5 mm. Má 12 drážek, každá s hloubkou 10 mm. Celková plocha drážky je 51 mm². Šířka zubu je 2,2 mm. Rotorem vede hřídel o průměru 8 mm. Vinutí má v drážkách paralelní větev. Každá cívka má 17 závitů, tudíž v jedné drážce je 34 vodičů o průměru 0,56 mm.

Stator

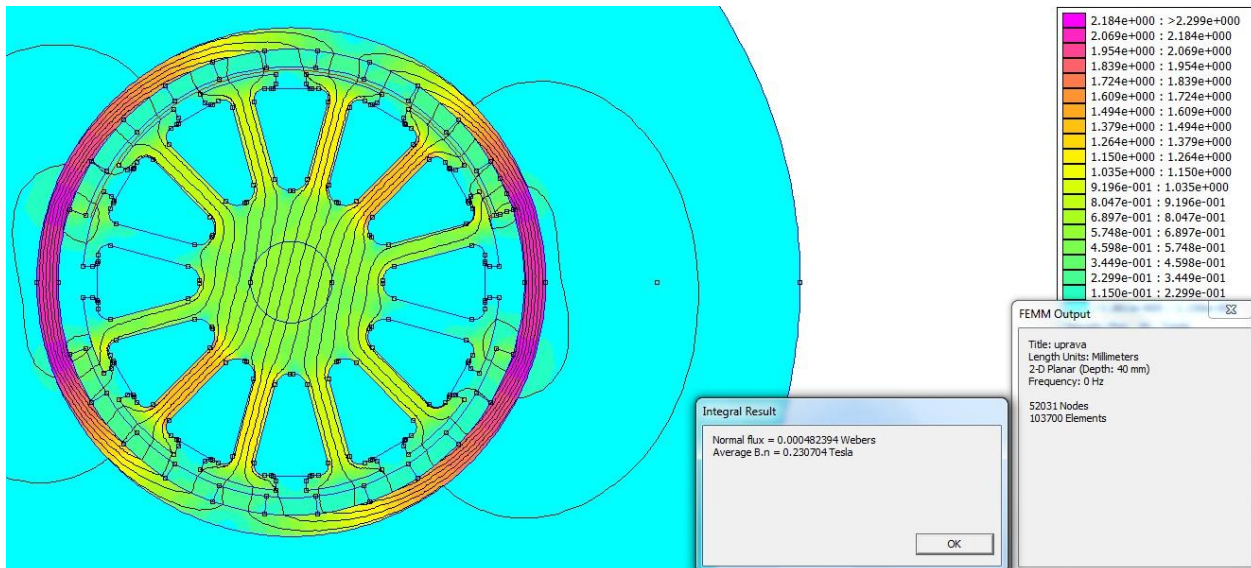
Stator byl přepočítán v důsledku snížení výšky permanentních magnetů a nutnosti změny délky vzduchové mezery. Průměry statoru jsou 50 mm vnější a 45,8 mm vnitřní. Délka permanentního magnetu je 45 mm a výška je 1,7 mm. Celý stator je tvořen ocelovou stáčenou trubicou.



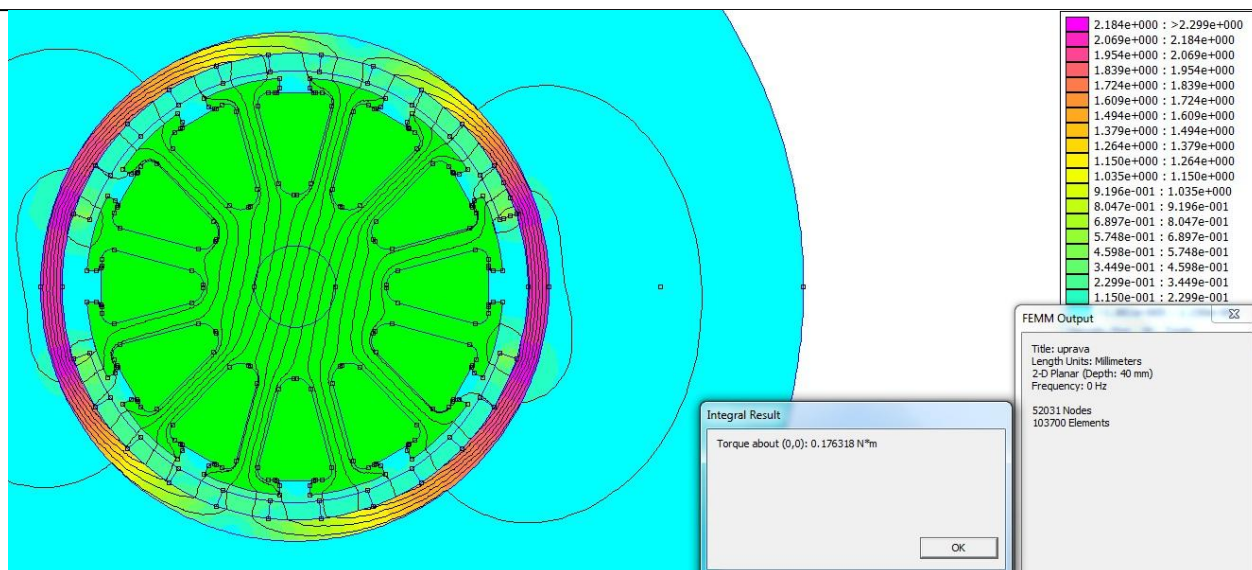
Obrázek 38: Řez motorem s přiřazenými materiály v programu FEMM 4.2



Obrázek 40: Rozložení magnetické indukce v motoru



Obrázek 39: Magnetická indukce ve vzduchové mezeře



Obrázek 41: Vnitřní moment při jmenovitém proudu

6.2 Výsledky analýzy

Vytvořil jsem průřez střechačového motorku s přiřazenými materiály v programu FEMM 4.2. Výsledkem analýzy je zobrazení barevného rozložení magnetického pole v řezu motorku.

Pomocí programu FEMM 4.2 byla vypočtena indukce ve vzduchové mezeře $B_\delta = 0,230$ T, vnitřní (elektromagnetický) moment při jmenovitém proudu ve vinutí rotoru $M_i = 176,3$ mN.m. Maximální indukce byla vypočtena pomocí programu FEMM 4.2 ve jhu statoru a to 2,070 T. Maximální indukce v zubu je 1,379 T.

Indukce ve vzduchové mezeře	0,230 T
Indukce v zubu	1,379 T
Maximální indukce	2,070 T
Vnitřní moment	176,3 mN.m
Výška PM	1,7 mm
Vnější průměr statoru	50 mm
Jho statoru	2,1 mm

Tabulka 15: Výsledné parametry inovovaného motorku

7 ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval elektrickými motorky použitelnými ve specifických aplikacích. Zaměřil jsem se především na elektrické motory používané v automobilovém průmyslu.

V první části jsem se zabýval představením aplikací, kde bylo možné využít stejnosměrný motor. Především se jednalo o automobily, kde je napájecí napětí stejnosměrné a proto je možné motory připojovat přímo na napájecí napětí. Představil jsem i další využití. Například dentisté používají stejnosměrný motor, který je však oproti automobilovým o mnoho řádů lehčí a rotor se otáčí několikanásobně vyššími otáčkami. Představil jsem i motory ve ventilátorech, kde se už ovšem jedná o asynchronní motor. Dále jsem představil i univerzální motor, který je možné napájet stejnosměrným i střídavým napětím. Jedná se o motor v domácích vysavačích.

Ve druhé části semestrálního projektu jsem se zabýval dvěma základními motory. První z nich byl stěračový motor, sloužící ke stírání nečistot, vody a dalších usazenin na předním skle automobilu. Vysvětlil jsem základní požadavky na použitý stěračový motor a následně vysvětlil i způsoby přepínání rychlostí s možností regulace rychlosti cyklování. Následně byl představen motor se stíněným pólem. Jedná se o stroj, který má na statoru speciální vinutí, které se nazývá stíněné, a to slouží k určení směru otáčení a následnému rozběhu. Pokud přidáme ke každému pólu ještě jedno vinutí, pak je možné, aby se motor otáčel i na druhou stranu.

Ve třetí části jsem se věnoval možnosti inovace a modernizace stejnosměrného motoru. Ukázal možnost využití magnetů ze vzácných zemin, které mají vyšší magnetické napětí, tím můžeme následně dosáhnout menších rozměrů stroje. Hlavními představiteli, tzv. supermagnety, jsou FeNdB a SmCo. Ovšem mají také svoji nevýhodu, kterou je právě vyšší pořizovací cena, složitá tvárnost a dále menší teplotní odolnost oproti feritům.

Ve čtvrté části jsem provedl měření na čtyřech vybraných motorcích firmy APS Světla nad Sázavou. Provedl jsem měření naprázdno a měření momentových charakteristik. Přičemž jeden z těchto motorků jsem v následující kapitole analyzoval a navrhl vylepšení.

V páté a šesté kapitole byl proveden rozbor stěračového motoru z automobilu. Provedl jsem simulaci původního motoru v programu FEMM. Následně jsem provedl výměnu feritových magnetů za magnety ze vzácných zemin. Musela být přepočtena výška magnetů a následně provedena simulace.

Výsledná tabulka ukazuje rozdíly mezi původním motorkem a inovovaným. Inovovaný motorek je menší o 13 mm a dokáže při jmenovitém proudu vyvinout moment 176,3 mN.m. Výsledný moment je téměř totožný s původním motorkem, ovšem hlavní vylepšení motoru je jeho zmenšení a tím i snížení jeho hmotnosti.

Před výrobou navrženého motoru je nutné provést další výpočty, ve kterých se zkontroluje, zdali se bude schopen motor uchladit. Poté provedení kontrolu reakce v ložiscích a především vliv magnetického tahu na průhyb hřídele rotoru.

	původní	inovovaný
Průměr rotoru	41 mm	41 mm
Délka rotorového svazku	40 mm	40 mm
Počet pólů	$2p = 2$	$2p = 2$
Počet drážek	12	12
Hloubka drážky rotoru	10 mm	10 mm
Plocha drážky Sdr	51 mm^2	51 mm^2
Počet závitů	34	34
Průřez vodiče	0,56 mm	0,56 mm
Vnější průměr	63 mm	50 mm
Vnitřní průměr	58 mm	45,8 mm
Výška magnetu	5,5 mm	1,7 mm
Délka magnetu	45 mm	45 mm
Indukce ve vzduchové mezeře	0,214 T	0,230 T
Indukce v zubu	1,229 T	1,379 T
Maximální indukce	1,955 T	2,070 T
Vnitřní moment	149,9 mN.m	176,3 mN.m
Jho statoru	2,5 mm	2,1 mm

LITERATURA

- [1] ŠPAČEK, Ladislav. *Analýza a inovace elektrických motorků pro automobily*. Brno, 2011. Diplomová práce. VUT.
- [2] KŮTA, Aleš. *VLASTNOSTI STĚRAČOVÉHO MOTORU*. 2008, Brno. Bakalářská práce. VUT.
- [3] NEJEDLÝ, Vladislav. *ANALÝZA A INOVACE ELEKTRICKÝCH MOTORKŮ PRO AUTOMOBILY*. Brno, 2010. Diplomová práce. VUT.
- [4] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 2., upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2002, 637 s. ISBN 80-859-2083-2.
- [5] ŠTASTNÝ, Jiří a Branko REMEK. *Autoelektrika a autoelektronika*. Vyd. 3., opr. Praha: T. Malina, 1997, 276 s. ISBN 80-901-9754-X.
- [6] ŽUŠKA, Martin. *ASYNCHRONNÍ MOTOR SE STÍNĚNÝM PÓLEM*. Brno, 2008. Diplomová práce. VUT.
- [7] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2002, 561 s. ISBN 80-867-0600-1.
- [8] HÁJEK, V. a J. ŠVORC. APS/VUT. *VÝZKUM A VÝVOJ ŘADY STEJNOSMĚRNÝCH MOTORŮ 12V a 24 V*. Brno, 2013.
- [9] Permanentní magnety ze vzácných zemin. *SuperMagnety.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: <http://www.supermagnety.cz/cz/64/magnety-ze-vzacnych-zemin/>
- [10] Mechanické vlastnosti. *Magnety.info* [online]. 2014 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: <http://magnety.info/2.php>
- [11] Samarium Cobalt. *TotalMagneticSolutions* [online]. 2000 [cit. 2014-11-13]. Dostupné z: <http://www.magnetsales.com/smco/smco1.htm>
- [12] Ventilátory. *ATAS elektromotory Náchod* [online]. 2009-2013 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.atas.cz/page.php?sekce=2&lng=cz>
- [13] Radiální ventilátor. *Cipres filtr Brno* [online]. 2010 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.cipres.cz/radialni-ventilator.html>
- [14] *Stejnoseměrné motory*. Katedra elektroniky. VŠB-TU Ostrava, 2012. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat430/old/Studium/Materialy/VS/kap22.pdf>
- [15] Jak funguje vysavač?. In: *FyzWeb* [online]. 2007 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=90&id_casti=31
- [16] *SKODASHOP* [online]. 2008 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.skodashop.cz/produkty/detail-produktu/octavia--fabia--roomster--vika-motorek-ostrikovace-821756.html>

